



TUGAS AKHIR – RF 141501

**ESTIMASI KECEPATAN GELOMBANG GESER (V_s)
BERDASARKAN INVERSI MIKROTREMOR *SPECTRUM
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO* (HVSr)
STUDI KASUS : TANAH LONGSOR DESA OLAK ALEN,
BLITAR**

IMAM GAZALI
NRP 3713100015

DOSEN PEMBIMBING:

M. Singgih Purwanto, S.Si, MT
NIP. 19800916 200912 1002

Dr. Dwa Desa Warnana
NIP. 19760123 200003 1001

DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



TUGAS AKHIR - RF 141501

ESTIMASI KECEPATAN GELOMBANG GESER (V_s) BERDASARKAN INVERSI MIKROTREMOR *SPECTRUM HORIZONTAL TO VERTICAL* *SPECTRAL RATIO* (HVSr) STUDI KASUS : TANAH LONGSOR DESA OLAK ALEN, BLITAR

IMAM GAZALI
NRP. 3713100015

Dosen Pembimbing:

M. Singgih Purwanto, S.Si, MT
NIP. 19800916 200912 1002

Dr. Dwa Desa Warnana
NIP. 19760123 200003 1001

DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



UNDERGRADUATE THESIS - RF 141501

**SHEAR WAVE VELOCITY ESTIMATION BASED ON
MICROTREMOR INVERSION OF SPECTRUM HORIZONTAL TO
VERTICAL SPECTRAL RATIO (HVSr) CASE STUDY: LANDSLIDE
IN OLAK-ALEN SUB-DISTRICT, BLITAR REGENCY**

IMAM GAZALI
NRP. 3713100015

Supervisor:

M. Singgih Purwanto, S.Si, MT
NIP. 19800916 200912 1002

Dr. Dwa Desa Warnana
NIP. 19760123 200003 1001

GEOPHYSICAL ENGINEERING DEPARTEMENT
Faculty of Civil Engineering and Planning
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**ESTIMATIMASI KECEPATAN GELOMBANG GESER (V_s)
BERDASARKAN INVERSI MIKROTREMOR SPECTRUM
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO (HVSr) STUDI
KASUS: TANAH LONGSOR DESA OLAK-ALEN, BLITAR**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Departemen Teknik Geofisika
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya, 06 Juli 2017

Menyetujui,

Dosen Pembimbing 1,

Dosen Pembimbing 2,

M. Singgih Purwanto, S.Si, MT

Dr. Dwa Desa Warnana

NIP. 198009 16 200912 1002

NIP. 19760123 200003 1001

Mengetahui,

Kepala Laboratorium

Geofisika Eksplorasi

Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si, MT

NIP. 19690906 199702 1001

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul **“Estimasi Kecepatan Gelombang Geser (Vs) Berdasarkan Inversi Mikrotremor *Spectrum Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr) Studi Kasus: Tanah Longsor Desa Olak-alen, Blitar”** adalah benar benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 06 Juli 2017

Imam Gazali

Nrp. 3713100015

”Halaman ini sengaja dikosongkan”

**ESTIMASI KECEPATAN GELOMBANG GESER (V_s) BERDASARKAN
INVERSI MIKROTREMOR *SPECTRUM HORIZONTAL TO VERTICAL*
SPECTRAL RATIO (HVSr) STUDI KASUS: TANAH LONGSOR DESA
OLAK-ALEN, BLITAR**

Nama : Imam Gazali
NRP : 3713100015
Dosen Pembimbing 1 : M. Singgih Purwanto S.Si, M.T
Dosen Pembimbing 2 : Dr. Dwa Desa Warnana

ABSTRAK

Gerakan tanah merupakan bencana yang sering terjadi di kabupaten Blitar. Salah satu daerah yang sering terkena dampak oleh peristiwa tersebut adalah desa Olak-Alen, yang ditandai dengan adanya longsor. Hal ini dikarenakan pada daerah tersebut terletak pada kondisi geologi yang tersusun dari *tuff* dan pasir yang mempunyai potensi bahaya yang lebih besar terhadap efek intensitas gerakan tanah. Untuk mengetahui karakteristik lapisan tanah yang rentan terhadap bahaya gerakan tanah dilakukan pengukuran mikrotremor dengan metode HVSr. Kemudian data mikrotremor dianalisis untuk mendapatkan kurva HVSr yang akan digunakan untuk mengetahui penyebaran kecepatan gelombang gesernya (V_s) melalui proses inversi. Berdasarkan hasil penelitian didapatkan nilai frekuensi natural 1.7-3.7 Hz, Puncak HVSr 2-9 dan Indeks Kerentanan 1.5-44.7. Daerah yang diduga sebagai bidang gelincir memiliki nilai kecepatan geser 200-300 m/s yang di klasifikasikan sebagai tanah tipe D berdasarkan SNI 1726-2012 dan tipe C menurut *Eurocode 8*. Sedangkan *bedrock* pada penelitian ini memiliki nilai kecepatan geser 750-1200 m/s yang tersebar pada kedalaman 50-60 meter.

Kata Kunci: Desa Olak-Alen, Longsor, HVSr, Kecepatan Gelombang Geser (V_s)

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**ESTIMATION SHEAR WAVE VELOCITY BASED ON
MICROTREMOR INVERSION OF SPECTRUM HORIZONTAL TO
VERTICAL RATIO (HSVR) CASE STUDY: LANDSLIDE IN OLAK-
ALEN SUB-DISTRICT, BLITAR REGENCY**

Student Name : Imam Gazali
Student Number : 3713100015
Advisor 1 : M. Singgih Purwanto S.Si, MT
Advisor : Dr. Dwa Desa Warnana

ABSTRACT

Ground motion is a disaster that occur frequently in blitar. One of the most damaged areas in blitar is Olak-Alen village, where landslide caused by ground motion occur frequently. This is due to olak-alen's geological condition that consist of tuff and sand that has bigger potention of damage toward effect of ground motion intensity. To know the characteristic of subsoil that vulnerable toward danger of ground motion, microtremor measurement is done using HSVR method. Then, microtremor data is analysed to get HSVR curve which is used to get the spreading velocity of ground's shear wave velocity (V_s) through inversion process. Based on the result of this research, natural frequency 1.7-3.7 Hz, HSVR peak 2-9, and vulnerability index 1.5-44.7 are obtained. The suspected area of slip has a shear velocity value of 200-300 m / s which is classified as type D ground based on SNI 1726-2012 and type C according to Eurocode 8. While bedrock in this study has a shear velocity value of 750-1200 m / s which spread over 50-60 meters deep.

Keywords: Olak-Alen village, Landslide, HSVR, Shear wave velocity (V_s)

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Subhaanahu Wa Ta'aala yang telah memberikan limpahan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini yang berjudul

“ESTIMASI KECEPATAN GELOMBANG GESER (V_s) BERDASARKAN INVERSI MIKROTREMOR *SPECTRUM HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO* (HVSR) STUDI KASUS: TANAH LONGSOR DESA OLAK-ALEN, BLITAR”

sebagai salah satu syarat kelulusan Program Sarjana Departemen Teknik Geofisika Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.

Tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik berkat bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan kepada:

1. Ayah, Ibu, Kakak, serta semua keluarga yang selalu mendoakan, menguatkan, dan mendukung penulis sehingga penulis bisa sampai saat ini.
2. Bapak Dr. Widya Utama, DEA selaku Ketua Departemen Teknik Geofisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
3. Bapak M. Singgih Purwanto S.Si, M.T dan Bapak Dr. Dwa Desa Warnana selaku dosen pembimbing atas segala bimbingan dan motivasinya kepada penulis dalam mengerjakan tugas akhir ini sehingga dapat terselesaikan dengan baik.
4. Ibu Anik Hilyah, S.Si, M.T. dan Bapak Dr. Ayi Syaeful Bahri S.Si, MT selaku dosen penguji yang telah memberikan semua saran demi perbaikan tugas akhir ini.
5. Bapak M. Singgih Purwanto, S.Si., M.T. selaku koordinator tugas akhir dan Bapak Rachmat yang selalu memberikan informasi mengenai tugas akhir.
6. Bapak Dr. Dwa Desa Warnana selaku dosen wali yang telah memberikan arahan akademik selama penulis menempuh pendidikan di Departemen Teknik Geofisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
7. Bapak dan Ibu dosen serta para staf Departemen Teknik Geofisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu.
8. Teman-teman seperjuangan 116 yang saling mendukung dan memotivasi satu sama lain.

9. Teman-teman seperjuangan TG2 yang saling mendukung dan memotivasi satu sama lain.
10. Keluarga Mahasiswa Teknik Geofisika ITS yang selalu memberikan doa dan dukungannya kepada penulis.
11. Novritza, Dwipa, Alif, Jubel dan Nomensen yang telah membantu dalam pengambilan data tugas akhir.
12. Serta semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu-persatu, terimakasih telah mendoakan dan mendukung penulis sampai dengan selesainya tugas akhir ini.

Penulis juga menyadari bahwa dalam tugas akhir ini masih terdapat kekurangan. Oleh sebab itu, kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan demi kesempurnaan tugas akhir ini. Akhir kata, penulis berharap semoga tugas akhir ini dapat membawa manfaat bagi banyak pihak.

Surabaya, 06 Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|---|------|
| DAFTAR ISI | xv |
| DAFTAR GAMBAR | xvii |
| DAFTAR TABEL | xix |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 2 |
| 1.3 Batasan Masalah | 2 |
| 1.4 Tujuan | 2 |
| 1.5 Manfaat | 2 |
| 1.6 Sistematika Penulisan | 2 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 5 |
| 2.1 Gelombang Seismik | 5 |
| 2.2 Sifat Fisis dan Mekanika Tanah | 6 |
| 2.3 Mikrotremor | 7 |
| 2.4 Spektrum H/V Pada Gelombang Permukaan | 8 |
| 2.5 Karakteristik dan Analisis Spektrum H/V Mikrotremor | 9 |
| 2.6 Inversi HVSr | 11 |
| 2.7 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Data Mikrotremor | 12 |
| 2.8 Geologi Daerah Penelitian | 15 |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN | 17 |
| 3.1 Tahapan dan Alur Penelitian | 17 |
| 3.1.1 Kajian Pustaka | 17 |
| 3.1.2 Studi Lapangan (Pra Akuisisi Data) | 18 |
| 3.1.3 Akuisisi Data Lapangan | 18 |
| 3.2. Lokasi Penelitian | 18 |
| 3.3 Proses Pengolahan Data Penelitian | 20 |
| 3.3.1 Pengolahan Data HVSr | 21 |
| a. <i>Fast Fourier Transform (FFT)</i> | 23 |
| b. <i>Smoothing</i> | 23 |
| c. Analisis HVSr | 23 |
| d. Inversi dengan OpenHVSr | 24 |
| BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN | 27 |
| 4.1 Analisis Data Eksperimen | 27 |
| 4.2 Analisis HVSr Mikrotremor | 29 |
| 4.2.1 Analisis Frekuensi Dominan | 32 |
| 4.3 Inversi Mikrotremor | 39 |
| 4.3.1 Perhitungan Parameter Model | 39 |
| 4.3.2 Inversi Kurva HVSr | 42 |
| 4.4 Estimasi Struktur Bawah Permukaan | 45 |
| 4.4.1 Persebaran Kecepatan Gelombang (V_s) | 45 |
| 4.4.2 Estimasi V_{s30} | 51 |

| | |
|----------------------|----|
| BAB V PENUTUP | 53 |
| 5.1 Kesimpulan | 53 |
| 5.2 Saran | 53 |
| DAFTAR PUSTAKA | 55 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 2. 1 Komponen gelombang seismik | 6 |
| Gambar 2.2 (a) Geometri perlapisan tanah (b) model sumber mikrotremor yang diformulasikan menggunakan teori Spektrum H/V (Arai & Tokimatsu, 2004). | 9 |
| Gambar 2. 3 Geologi daerah penelitian (Sjarifudin & Hamidi, 1992). | 15 |
| Gambar 3. 1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir | 17 |
| Gambar 3. 2 Lokasi Titik Pengukuran Mikrotremor | 19 |
| Gambar 3. 3 Proses Pengolahan Data Mikrotremor | 21 |
| Gambar 3. 4 Data trace 3-komponen dalam domain waktu | 22 |
| Gambar 3. 5 Picking dengan window yang telah diseleksi | 22 |
| Gambar 3. 6 Tampilan project creator | 25 |
| Gambar 3. 7 Proses Pengaturan Pemodelan dan Invesi | 26 |
| Gambar 4. 1 Data lapangan hasil perekaman mikrotremor titik P-08..... | 27 |
| Gambar 4. 2 Kontur elevasi pada titik pengukuran mikrotremor..... | 28 |
| Gambar 4. 3 Pemilihan window pada titik P-08 | 29 |
| Gambar 4. 4 Kurva HVSR titik P-08..... | 30 |
| Gambar 4. 5 Peta persebaran frekuensi natural..... | 33 |
| Gambar 4. 6 Grafik crosplot nilai frekuensi vs elevasi | 33 |
| Gambar 4. 7 Peta persebaran amplifikasi tanah | 36 |
| Gambar 4. 8 Grafik Nilai Amplifikasi Vs Frekuensi Dominan | 37 |
| Gambar 4. 9 Peta Sebaran Indeks Kerentanan Tanah..... | 38 |
| Gambar 4. 10 Hasil N-SPT lapangan dan estimasi kecepatan gesernya | 41 |
| Gambar 4.11 Perbandingan hasil parameter model dari penurunan persamaan Gardner-Gregory dan hasil pendekatan nilai N-SPT..... | 42 |
| Gambar 4. 12 Optimalisasi Hasil Inversi | 44 |
| Gambar 4.13 Profil Kecepatan Gelombang Geser Hasil Inversi Kurva HVSR Pada Titik Pengukuran Elevasi Rendah di Daerah Penelitian. | 46 |
| Gambar 4.14 Profil Kecepatan Gelombang Geser Hasil Inversi Kurva HVSR Pada Titik Pengukuran Lereng Longsor di Daerah Penelitian. | 47 |
| Gambar 4.15 Profil Sebaran Kecepatan Gelombang Geser di daerah Penelitian | 49 |
| Gambar 4.16 Sayatan gelombang geser pada daerah longsor..... | 51 |

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

DAFTAR TABEL

| | | |
|------------|---|----|
| Tabel 2.1 | Sumber-sumber mikrotremor berdasarkan frekuensinya (Gutenberg,1958) dan (Asten, 1978). | 8 |
| Tabel 2.2 | Klasifikasi tanah berdasar nilai frekuensi dominan mikrotremor oleh Kanai (Arifin, et. al, 2013)..... | 13 |
| Tabel 2.3 | Klasifikasi sesuai dengan Eurocode 8 (Mufida, Santosa, & Warnana, 2013)..... | 14 |
| Tabel 3. 1 | Koordinat Posisi Titik Pengukuran | 19 |
| Tabel 4. 1 | Nilai Frekuensi Natural dan Amplifikasi..... | 31 |
| Tabel 4. 2 | Parameter model hasil pendekatan Gardner dan Gregory (1974) | 39 |
| Tabel 4. 3 | Parameter model berdasarkan pendekatan N-SPT | 40 |
| Tabel 4. 4 | V_{s30} dan klasifikasi tanah sesuai SNI 1726-2012 dan Eurocode 8. | 52 |

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bencana gerakan tanah merupakan bencana yang sering terjadi di kabupaten Blitar. Berdasarkan laporan Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi tahun 2016 diketahui bahwa kabupaten Blitar mempunyai potensi gerakan tanah berada pada zona menengah-tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa pada zona ini dapat terjadi gerakan tanah jika curah hujan diatas normal. Desa Olak Alen merupakan salah satu desa di kabupaten Blitar yang setiap tahunnya sering terkena dampak dari peristiwa tersebut. Peristiwa gerakan tanah terakhir terjadi pada hari jumat tanggal 2 Desember 2016. Akibatnya 2 rumah hancur, 7 rumah dalam area berbahaya dan 2 titik jalan terputus , yaitu di jalan Desa Olak Alen dan di jalur bawah jalan Blitar-Malang (Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, 2016). Secara umum topografi di sekitar gerakan tanah berupa perbukitan bergelombang dengan ketinggian lebih dari 390 m dpl. Berdasarkan peta geologi teknik lembar kabupaten Blitar, Desa Olak Alen merupakan daerah yang hampir seluruh bagiannya terbentuk oleh endapan gunung api Butak yang terdiri atas lava, breksi gunung api, tuf breksi dan tuf pasir dan sisanya berupa endapan Tuf yang terdiri dari tuf lapilli, tuf batupung dan lava (Sjarifudin & Hamidi, 1992). Selain itu menurut Nakamura, et al., (2000) kondisi geologi seperti endapan alluvial, *tuff* dan batu pasir mempunyai potensi bahaya yang lebih besar terhadap efek intensitas gerakan tanah terhadap gangguan karena gempa bumi. Sedangkan kondisi lapisan batuan bawah permukaan memiliki sifat fisis yang beragam pada saat terjadi perambatan gelombang seismik. Berdasarkan Amalia, et al., (2015) proses perambatan gelombang yang terjadi di dalam lapisan batuan dapat menimbulkan getaran atau guncangan yang dapat menyebabkan deformasi pada batuan.

Oleh karena itu, pengetahuan tentang keadaan kondisi tanah secara lokal menjadi bagian yang sangat penting dalam memperkirakan bahaya gerakan tanah secara spesifik. Salah satu parameter penting yang harus diketahui adalah struktur kecepatan gelombang geser (V_s) yang tidak terkonsolidasi dari batuan sedimen serta kontras gelombang S antara batuan dasar (*bedrock*) dan batuan sedimen. Parameter ini dapat menjadi pengontrol amplifikasi dari gelombang seismik selama gempa bumi. Kemudian dengan diketahuinya nilai kecepatan gelombang geser maka prediksi mengenai efek dari amplifikasi dapat ditentukan. Selain itu karakterisasi V_s dekat permukaan sangat penting untuk deliniasi batas geologi bawah permukaan untuk mempelajari efek lokal, pemetaan potensi likuifaksi akibat gempa bumi, klasifikasi getaran tanah dan karakterisasi tanah akibat tanah lunak diatas *bedrock* (Sutrisno, 2014).

Berdasarkan latar belakang tersebut, pada penelitian Tugas Akhir ini dapat mengklasifikasi dan mengkarakterisasikan tanah penyebab terjadinya gerakan tanah pada desa Olak Alen. Kemudian dari parameter tersebut dapat ditentukan area rawan pada lokasi penelitian.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan di dalam penelitian tugas akhir ini adalah bagaimana untuk mendapatkan kecepatan gelombang geser (V_s) dengan inversi mikrotremor spectrum *horizontal to vertical (H/V)* serta bagaimana menentukan daerah rawan bencana gerakan tanah di desa Olak Alen berdasarkan klasifikasi tanah dan karakteristik tanah dari nilai kecepatan gelombang geser (V_s).

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penyusunan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Pengolahan data mikrotremor menggunakan software *opensource Geopsy*, kemudian prediksi V_s didapatkan dari inversi yang dikembangkan oleh Bignardi (2016).
2. Klasifikasi tanah didasarkan pada *Eurocode 8* dan *Kanai-Omote Nakajima*.

1.4 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menentukan sebaran kecepatan gelombang geser (V_s) di daerah penelitian.
2. Menentukan karakteristik *bedrock* dan Mengestimasi V_{s30} yang digunakan untuk mengklasifikasikan tanah berdasarkan kekuatan getarannya.
3. Memprediksi area rawan berdasarkan karakteristik dan klasifikasi tanah pada daerah penelitian.

1.5 Manfaat

Dapat digunakan sebagai salah satu acuan oleh pemerintah daerah untuk mengatur tata ruang dan wilayah dalam melakukan rencana pengembangan dan pembangunan kota serta sebagai upaya awal dalam mitigasi bencana wilayah setempat.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini secara garis besar adalah sebagai berikut :

- Bab I : Pendahuluan yang meliputi latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat dan sistematika penulisan.
- Bab II : Tinjauan pustaka yang meliputi teori yang digunakan sebagai landasan penyusunan tugas akhir.
- Bab III: Metodologi penelitian meliputi prosedur kerja yang digunakan dalam tugas akhir ini.
- Bab IV: Hasil dan Pembahasan yang meliputi tahap pengolahan dan analisa data yang didapatkan selama pelaksanaan tugas akhir.
- Bab V: Penutup merupakan bagian penutup tugas akhir yang meliputi kesimpulan dan saran.

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gelombang Seismik

Gelombang seismik adalah gelombang-gelombang yang merambat baik didalam maupun dipermukaan bumi yang berasal dari sumber seismik seperti dari sumber gempa, ledakan (proses kimia atau nuklir), erupsi gunung api, dan longsor.

Ada beberapa tipe gelombang seismik diantaranya tipe gelombang P . Gelombang P merupakan gelombang primer yang merambat lebih cepat dan datang pertama kali serta lebih tajam (kandungan frekuensinya lebih tinggi), kecepatan gelombang P dalam padatan sekitar 1.8 sampai 7 km/detik, dan periodenya terletak antara 5 sampai 10 ms, yang dirumuskan sebagai berikut, dengan α adalah kecepatan gelombang P .

$$\alpha = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}} \quad (2.1)$$

$$\beta = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (2.2)$$

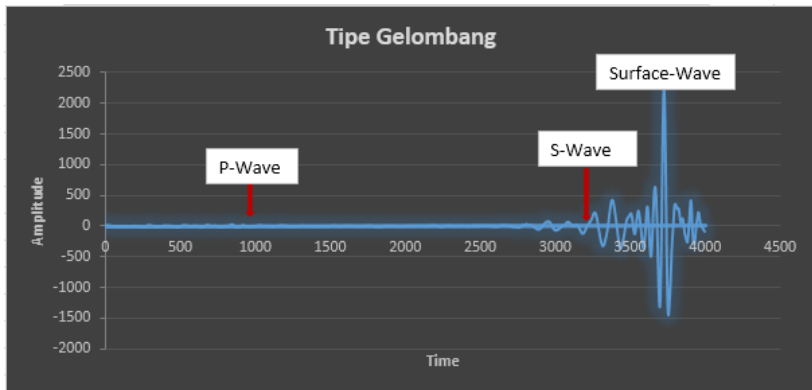
Sedangkan tipe gelombang yang kedua, yaitu gelombang S yang dapat dirumuskan seperti pada persamaan (2.2). Gelombang S merupakan gelombang transversal/sekunder, dimana gelombang ini datang setelah gelombang P dan ditandai dengan amplitudo yang lebih besar dari gelombang P dan kandungan frekuensinya lebih rendah, periodenya berkisar antara 11 sampai 13 ms.

Tipe-tipe gelombang yang dibahas di atas merupakan gelombang bodi, yaitu gelombang yang merambat di dalam medium. Tipe gelombang lain adalah gelombang permukaan yang merambat sejajar dengan permukaan medium. Gelombang permukaan terbentuk dari interferensi gelombang-gelombang yang mempunyai sifat tertentu akibat interaksinya dengan permukaan bebas. Gelombang tersebut adalah gelombang pantul yang gelombang datangnya melebihi sudut kritis sehingga amplitudo gelombang pantulnya berkurang terhadap kedalaman.

Tipe pertama dari gelombang permukaan adalah gelombang *love*. Gelombang ini terbentuk akibat adanya interferensi gelombang-gelombang pantul gelombang SH pada suatu lapisan dekat dekat permukaan bumi. Gerak

medium ketika dilewati gelombang *love* tentu saja sama dengan gelombang *SH*, tapi amplitudonya berkurang terhadap kedalaman. Gelombang permukaan bersifat dispersif, yaitu kecepatan gelombangnya tergantung pada frekuensi. Semakin besar frekuensinya semakin kecil kecepatannya dan penetrasi kedalamannya semakin dangkal dan sebaliknya (Afnimar, 2009).

Pada penelitian ini tipe gelombang yang digunakan adalah gelombang S, yang datang setelah gelombang P (gambar 2.1). Oleh karena itu dalam mengestimasi gelombang S dalam mempelajari efek dari geologi lokal dalam pengukuran mikrotremor harus dalam medium yang tidak homogen. Dengan kata lain, adanya kontras parameter perambatan gelombang (densitas dan kecepatan) pada basement dan sedimen permukaan.



Gambar 2. 1 Komponen gelombang seismik

2.2 Sifat Fisis dan Mekanika Tanah

Tanah memiliki sifat fisis (*soil properties*) dan sifat mekanik (*indeks properties*). Sifat-sifat fisika tanah meliputi ukuran butir tanah, warna, bentuk butiran, dan kekerasan tanah. Sedangkan sifat mekanis tanah meliputi sifat kohesi, plastisitas, dan lain sebagainya. Untuk mengetahui sifat fisik dan sifat mekanis tanah, maka diperlukan usaha berupa integrasi kompilasi data antara data bor dan data pendekatan secara fisis (Sutrisno, 2014).

Dalam penelitian ini berupa sifat fisis dan mekanis tanah yang menjadi pokok bahasan adalah kecepatan gelombang geser (V_s), kecepatan gelombang kompresi (V_p), densitas (ρ), faktor Quasi gelombang P (Q_p), dan faktor Quasi gelombang S (Q_s).

Kecepatan gelombang geser (V_s) tanah memainkan peran penting dalam desain struktur geoteknik di bawah beban dinamis. Selain itu berdasarkan Sutrisno (2014) V_s juga digunakan untuk nilai referensi awal dalam masalah strain terhadap pembebanan seismik. Di Indonesia, umumnya V_s diukur dengan menggunakan uji *downhole*. Namun peralatan ini tidak tersedia secara luas, akibatnya uji ini menjadi terlalu mahal dalam melakukan sebagian proyek konstruksi. Di sisi lain, uji laboratorium dari hasil *boring* dapat dieksplorasi lebih lanjut untuk mendapatkan nilai V_s . Gardner dan Gregory (1974) melakukan serangkaian studi empiris untuk menentukan hubungan keterikatan antara V_p , V_s dan densitas. Hasil ini dikenal dengan persamaan Gardner (Gardner, & Gregory, 1974).

$$\rho = \alpha V_p^{\frac{1}{4}} \quad (2.3)$$

Dengan ρ dalam g/cm^3 , α adalah koefisien dengan nilai 0.31 ketika V dalam m/s dan digunakan 0.23 ketika V dalam ft/s . Setelah parameter V_p didapatkan, maka parameter V_s dapat ditentukan dengan persamaan (2.2).

2.3 Mikrotremor

Mikrotremor adalah getaran lingkungan (*ambient vibration*) yang berasal dari dua sumber utama, yaitu aktivitas manusia dan alam (Nakamura Y., 2000). Menurut Okada (2004), mikrotremor merupakan getaran konstan dari permukaan bumi (Okada, 2004). Menurut Ibrahim dan Subardjo (2005), mikrotremor terjadi karena getaran akibat orang berjalan, getaran mobil, getaran mesin-mesin pabrik, getaran angin, gelombang laut atau getaran alamiah dari tanah (Ibrahim & Subardjo, 2005). Mikrotremor digunakan dalam teknik kegempaan untuk memperkirakan profil kecepatan gelombang geser (V_s). Mikrotremor didominasi oleh gelombang permukaan yang dapat digunakan untuk menentukan kurva dispersi gelombang Rayleigh tanpa memerlukan sumber tiruan. Analisis mikrotremor dapat dilakukan dengan menggunakan metode HVSR (Horizontal to Vertical Spectrum Ratio), metode ini merupakan salah satu cara yang paling mudah dan paling murah untuk memahami sifat struktur lapisan bawah permukaan tanpa menyebabkan gangguan pada struktur tersebut. Metode HVSR merupakan metode yang digunakan sebagai indikator struktur bawah permukaan yang memperlihatkan hubungan antara perbandingan spektrum H/V dengan *ellipticity curve* dari gelombang permukaan Rayleigh. Perbandingan spektrum H/V adalah perbandingan antara spektrum amplitude Fourier komponen horizontal dan vertikal dari mikrotremor. Ellipticity Rayleigh merupakan perbandingan spectral dari amplitude komponen horizontal terhadap vertikal. Ellipticity curve digunakan dalam teknik kegempaan untuk menentukan frekuensi dasar dari

lokasi gempa dan sangat responsif terhadap lokasi dan kedalaman dari suatu lapisan (cristanty, 2011).

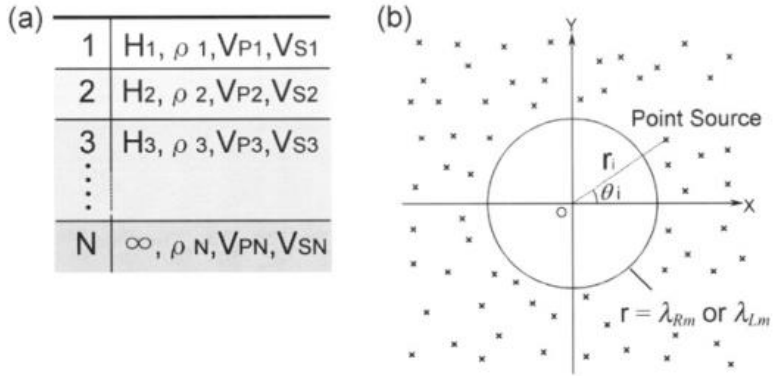
Mikrotremor mempunyai frekuensi lebih tinggi dari frekuensi gempa bumi, periodenya kurang dari 0,1 detik yang secara umum antara 0,05-2 detik dan untuk mikrotremor periode panjang bisa mencapai 5 detik, sedangkan amplitudonya berkisar 0,1-2,0 mikron (Sutrisno, 2014). Mikrotremor juga terpengaruh oleh aktivitas masnusia yang bisa menimbulkan getaran, namun hal ini berpengaruh sangat kecil terhadap mikrotremor dengan frekuensi dibawah 0,1 Hz, dan sebaliknya. Sumber mikrotremor yang berasal dari alam (gelombang laut, kondisi mitiorologi dengan skala luas) memiliki frekuensi rendah (dibawah 1 Hz). Pada frekuensi sedang (1-5 Hz) sumber mikrotremor berasal dari alam (kondisi meteorologi lokal) maupun aktifitas manusia (kepadatan penuduk), dan pada frekuensi tinggi (diatas 5 Hz) sumber utamanya adalah aktifitas manusia. Table 2.1 berikut merupakan daftar perbedaan jenis sumber mikrotremor berdasarkan nilai frekensinya menurut Gutenberg dan Asten.

Tabel 2.1 Sumber-sumber mikrotremor berdasarkan frekuensinya (Gutenberg,1958) dan (Asten, 1978).

| No | Sumber Mkrotremor | Gutenberg | Asten |
|----|--|-------------|-------------|
| 1 | Gelombang laut yang menerjang sepanjang bibir pantai | 0,05-0,1 Hz | 0,2-1,2 Hz |
| 2 | Termor Vulkanik | 2-10 Hz | - |
| 3 | Kepadatan Penduduk | 1-100 Hz | 1,4-30 Hz |
| 4 | Gangguan Meteorologi skala besar (<i>Monsom</i>) | 0,1-0,25 Hz | 0,16-0,5 Hz |

2.4 Spektrum H/V Pada Gelombang Permukaan

Gambar 2.2a menunjukan sebuah model perlapisan tanah dimana teori spectrum H/V dapat ditentukan. Model perlapisan tanah diasumsikan sebagai bidang *semi-infinite* medium elastic yang terdiri N paralel, solid, homugen, lapisan isotropis. Setiap lapisan dikarakterisasi dengan ketebalan (H), densitas (p), kecepatan gelombang-P (V_p), dan kecepatan gelombang-S (V_s). Hal ini juga diasumsikan bahwa *Fourier-time* mentransformasikan titik-titik vertikal dan horizontal memiliki frekuensi sudut ω , $Ly(\omega)$, dan $LH(\omega)$ tersebar dipermukaan secara acak pada jarak diatas satu panjang gelombang dari titik observasi yaitu titik asal (Gambar 2.2b).



Gambar 2. 2 (a) Geometri perlapisan tanah (b) model sumber mikrotremor yang diformulasikan menggunakan teori Spektrum H/V (Arai & Tokimatsu, 2004).

Meskipun gelombang permukaan dan gelombang *body* yang dihasilkan dari masing-masing sumber dan disebar dimedium yang sama, akan tetapi gelombang badan akan mengalami atenuasi lebih cepat dari pada gelombang permukaan. Hal ini disebabkan oleh gelombang permukaan (*Rayleigh* dan *Love*) yang mendominasi pada jarak lebih dari satu panjang gelombang dari sumber (lihat gambar 2.2b) (Arai & Tokimatsu, 2004).

2.5 Karakteristik dan Analis Spektrum H/V Mikrotremor

Setelah jelas bahwa kurva HVSR merupakan spektrum gelombang badan, tepatnya gelombang SH, maka permodelan kedepan untuk karakterisasi kurva HVSR dilakukan dengan menggunakan salah satu fungsi Software ModelHVSR yang dikembangkan oleh herak (2008). Model HVSR ini didasarkan pada medium homogen vescoelastisitas dengan gelombang vertikalnya diganti gelombang primer (secara teori gelombang SV), namun demikian Herak (2008) menyatakan bahwa pendekatan ini valid. Menurut Herak (2008), terdapat enam parameter yang mempengaruhi kurva HVSR, antara lain: V_p , V_s , h , ρ , Q_p dan Q_s . Untuk mempengaruhi tingkat pengaruh keenam parameter tersebut, dapat dilakukan dengan melakukan cara pemodelan kedepan yang mevariasikan satu variabel dengan variabel yang lainnya tetap. Karakteristik ini, berguna untuk desain inversi kurva HVSR (Herak, 2008).

Analisis spektrum H/V atau yang sering disebut dengan HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) pertama ditemukan dari catatan gerakan kuat diberbagai tempat di Jepang. Di tanah yang lunak, gerakan horizontal lebih besar dari gerak vertikal. Disisi lain, ditanah yang keras, baik gerak horizontal dan vertikal mirip satu sama lain baik pada nilai maksimum dan minimum

gelombang. Nakamura *et al* (1989,2000, 2008) mengembangkan metode HVSR pada data mikrotremor untuk karakterisasi suatu tempat. Pengembangan Nakamura *et al* (2000) didukung oleh Tuladhar (2002) yang berhasil memaparkan bahwa Spektrum Fourier komponen horizontal atau vertikal data mikrotremor diketahui berhubungan dengan sumber eksitasi, tidak stabil dan tidak merepresentasikan kondisi setempat. Tetapi, rasio spektrum Fourier vertikal terhadap horizontal diketahui stabil dan hasilnya tidak dipengaruhi sumber getaran. Hal ini sesuai dengan Nakamura (1989) yang memperlihatkan bahwa efek sumber bisa diminimalisir dengan normaslisasi amplitude spektrum horizontal dengan amplitude spektrum vertikal. Tuladhar *et al* (2004) dan Boore (1972) menyebutkan bahwa dalam penggunaan metode ini dibutuhkan beberapa asumsi antara lain bahwa : (1) sebagian besar mikrotremor terdiri dari gelombang geser; (2) komponen vertikal dari suatu gelombang tidak diamplifikasikan lapisan tanah lunak dan hanya komponen horizontal teramplifikasi; (3) secara geologi, *bedrock* dianggap menyebar kesegala arah; (4) Gelombang *Rayleigh* dianggap sebagai *noise*, sehingga diperlukan untuk mengeleminasi efek gelombang *Rayleigh*. Nakamura (1989) beralasan bahwa efek bencana gempa bumi terutama disebabkan oleh gelombang *body* dan jika gelombang *Rayleigh* menyebabkan kerusakan maka kerusakan harus diminimum. Hal ini menyatakan bahwa pemahaman fenomena energy gelombang *body* yang terperangkap dalam lapisan permukaan yang lunak itu penting. Dari sudut pandang inilah, gelombang *Rayleigh* memainkan peran sebagai *noise* dan diperlukan untuk menghilangkan efeknya. Hal ini dimungkinkan untuk memahami bahwa lapisan permukaan berperilaku sebagai filter *high-pass* untuk gelombang *Rayleigh* yang merambat dilapisan permukaan. Gelombang *Rayleigh* tidak dapat berpropagasi dalam rentang frekuensi dibawah frekuensi dominan tanah permukaan (F_0 Hz) dan dapat mengirimkan puncak energi disekitar frekuensi dari kumpulan kecepatan minimum ($2 F_0$ Hz). Maka dari itu efek dari multiple refleksi dari gelombang SH sebagian terdiri dari sekitar F_0 Hz (Sutrisno, 2014).

Definisi rasio spektrum H/V dari mikrotremor pada frekuensi ω , $(H/V)_m(\omega)$ yang digunakan dalam penelitian ini didefinisikan sebagai berikut :

$$(H/V)_m(\omega) = \sqrt{\frac{P_{NS}(\omega) + P_{EW}(\omega)}{P_{UD}(\omega)}} \quad (2.4)$$

Dengan $P_{UD}(\omega)$ adalah spektrum *power fourier* dari pergerakan vertikal dan $P_{NS}(\omega)$ dan $P_{EW}(\omega)$ adalah pergerakan partikel secara orthogonal.

Untuk mendapatkan *power fourier spectrum*, Capon (1969) menggunakan metode *direct degment* seperti pada persamaan (2.5) dibawah in :

$$P_x(\omega) = \frac{1}{L} \sum_{l=1}^L |S_{xl}(\omega)|^2 \quad (2.5)$$

Dengan L adalah total jumlah data titik segmen yang *Overlapping*, dan $S_{xl}(\omega)$ adalah transformasi fourier dari banyaknya data segmen dari pergerakan sumbu X.

2.6 Inversi HVSR

Inversi *horizontal to vertical spectral ratio* (INV_HVSR) adalah modul yang menginversikan kurva HVSR yang teramati untuk menemukan model tanah yang terbaik menggambarkan (Herak, 2008). Algoritma ini didasarkan pada kombinasi yang sederhana dan dalam pencarian ruang model didasarkan pada metode Monte Carlo yang meminimalkan fungsi ketidakcocokannya (misfit).

$$m = \sum_i \{[HVSR_{OBS}(f_i) - HVSR_{THE}(f_i)]W_i\}^2 \quad (2.6)$$

Dengan OBS dan THE berturut-turut adalah observasi dan teori dari kurva HVSR serta W_i adalah pembobotan yang didefinisikan sebagai berikut :

$$W_i = [HVSR_{OBS}(f_i)]^E, E \geq 0. \quad (2.7)$$

Grandis (2009) memaparkan bahwa fungsi matematis kurva HVSR bersifat non-linier, karena fungsi obyektifnya dapat memiliki nilai minimum lebih dari satu, yang hampir semua nilai minimum tersebut hanya memiliki sifat minimum lokal, bukan nilai minimum global seperti yang diharapkan. Sebagaimana diungkapkan oleh Olivera *et al* (2006) amplifikasi atau puncak HVSR dapat lebih dari satu, dan amplifikasi pada frekuensi tinggi patut untuk dipertimbangkan. Hal ini karena kurva observasi HVSR pada frekuensi tinggi terdapat sumbangsih gelombang permukaan, kemudian seperti yang dikatakan Ali *et al* (2010) dalam penelitian Sungkono (2011) pada frekuensi rendah kondisi cuaca dan angin dapat mempengaruhi HVSR dan begitu juga dengan

noise lingkungan yang turut berperan dalam mempengaruhi puncak frekuensi. Dengan cukup banyaknya jumlah parameter yang mempengaruhi kurva HVSR yaitu V_p , V_s , Q_p , Q_s , h , dan ρ , maka semakin kompleks pula bentuk fungsi obyektifnya. Maka perlu dilakukan pendekatan global dalam menginversikan kurva HVSR, salah satunya adalah dengan mengevaluasi secara sistematis harga fungsi obyektif untuk setiap model pada ruang model (Sutrisno, 2014).

Dalam Tugas Akhir ini dilakukan inversi dengan *software* OpenHVSRR yang dikembangkan oleh Bignardi (2016). OpenHVSRR adalah suatu program komputer yang dikembangkan berbasis Matlab untuk mensimulasikan pemodelan atau inversi pada *Horizontal to Spectral Ratio* (HVSR atau H/V) dalam skala besar (Bignardi, 2016). Menurut Bignardi (2016) tujuan dikembangkan *software* OpenHVSRR adalah untuk merekonstruksi model bawah permukaan secara 2D/3D termasuk informasi topografi.

Kemampuan *software* OpenHVSRR ini dapat digunakan untuk mikrozonasi atau penelitian sejenis. *Software* HVSR dapat digunakan ketika memang dibutuhkan untuk memverifikasi model geoteknik yang sudah ada dengan mengkombinasikan teori HVSR dengan hasil observasi, atau menginversikan data pengukuran *ambient noise* untuk menentukan model tanah. OpenHVSRR menerapkan fitur ModelHVSR yang dikembangkan oleh Herak (2008) dan menambahkan fitur-fitur baru seperti evaluasi kepercayaan terhadap *heterogeneity* secara lateral, evaluasi ketergantungan frekuensi *single parameter* yang berdampak pada fungsi *misfit* serta kemampuan untuk pengguna mengedit model bawah permukaan setiap saat selama inversi dan kemampuan menguji perubahan sebelum model diterima (Bignardi, Mantovani, & Abu Zeid, 2016).

2.7 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Data Mikrotremor

Dalam penentuan daerah rawan bencana berdasarkan analisis data mikrotremor didasarkan pada parameter tertentu yang memiliki karakteristik didasarkan pada pertimbangan antara lain getaran tanah, faktor penguatan (amplifikasi) dan frekuensi dominan. Dalam penelitian ini parameter yang digunakan dalam pengklasifikasian tanah didasarkan pada frekuensi dominan dan nilai kecepatan geser di atas kedalaman 30 meter (V_{s30}).

Frekuensi dominan adalah nilai frekuensi yang kerap muncul sehingga diakui sebagai nilai frekuensi dari lapisan batuan di wilayah tersebut sehingga nilai frekuensi dapat menunjukkan jenis dan karakteristik batuan tersebut. Lachet dan Brad (1994) melakukan uji simulasi dengan 6 model struktur geologi sederhana dengan kombinasi variasi kontras kecepatan gelombang geser dan ketebalan lapisan *soil* (Arifin, et. al, 2013). Hasil simulasi menunjukkan hasil puncak frekuensi berubah terhadap variasi kondisi geologi (tabel 2.2).

Tabel 2. 2 Klasifikasi tanah berdasarkan nilai frekuensi dominan mikrotremor oleh Kanai (Arifin, et. al, 2013)

| Klasifikasi Tanah | | Frekuensi Dominan (Hz) | Klasifikasi Kanai | Deskripsi |
|-------------------|-----------|------------------------|--|--|
| Tipe | Jenis | | | |
| Tipe IV | Jenis I | 6,67-20 | Batuan tersier atau lebih tua. Terdiri dari batuan <i>Hard sandy, gravel</i> , dll | Ketebalan sedimen permukaannya sangat tipis, di dominasi oleh batuan keras |
| | Jenis II | 10-4 | Batuan alluvial, dengan ketebalan 5m. Terdiri dari <i>sandy-gravel, sandy hard clay, loam</i> dll | Ketebalan sedimen permukaannya masuk dalam kategori menengah 5-10 meter |
| Tipe III | Jenis III | 2,5-4 | Batuan alluvial, dengan ketebalan >5m, terdiri dari <i>sandy-gravel, sandy hard clay, loam</i> dll | Ketebalan sedimen permukaan termasuk kategori tebal, sekitar 10 – 30 meter |
| Tipe II | Jenis IV | <2,5 | Batuan alluvial, yang terbentuk dari sedimentasi delta, top soil, dll. Dengan kedalaman 30m atau lebih | Ketebalan sedimen permukaannya sangatlah tebal |
| Tipe I | | | | |

Tabel 2. 3 Klasifikasi sesuai dengan Eurocode 8 (Mufida, Santosa, & Warnana, 2013).

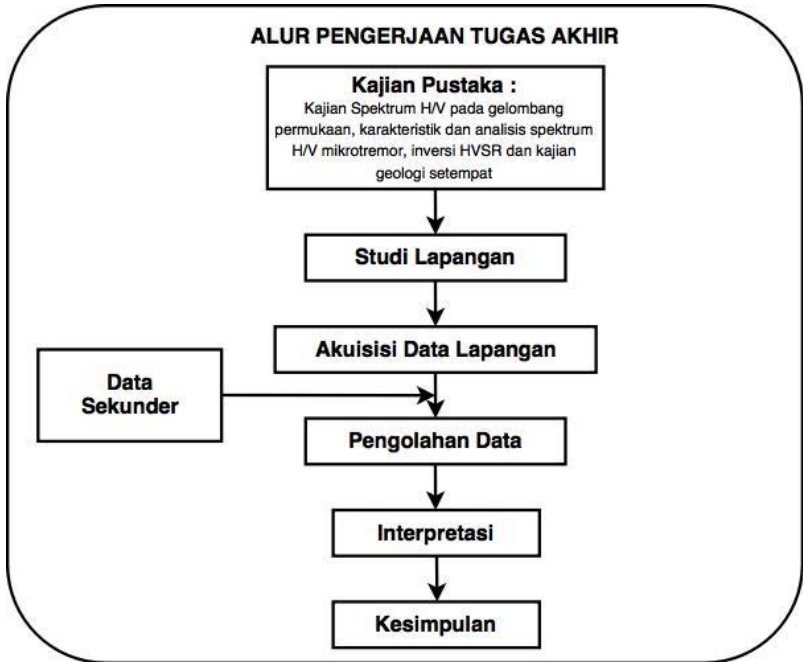
| Tipe Tanah | Uraian Gambaran Stratigrafi | Vs30 (m/s) |
|------------|--|-----------------|
| A | Batuan atau formasi batuan lainnya, | > 800 |
| B | Endapan sand atau clay yang sangat padat , gravel, pada ketebalan beberapa puluh meter, ditandai dengan peningkatan sifat mekanik terhadap kedalaman, | 360-800 |
| C | Endapan sand padat atau setengah padat yang tebal, gravel atau clay padat dengan ketebalan beberapa puluhan hingga ratusan meter, | 180-360 |
| D | Endapan tanah kohesi rendah sampai sedang (dengan atau tanpa beberapa lapisan kohesi rendah), atau terutama pada kohesi rendah, | <180 |
| E | Lapisan tanah terdiri alluvium pada permukaan dengan nilai V stipe C atau D dengan ketebalan bervariasi antara 5 m dan 20 meter, di bawah tanah ini berupa material keras dengan Vs >800 m/s | |
| S1 | Endapan terdiri dari atau mengandung, ketebalan lapisan minimal 10 m, pada tanah lempung lunak atau lempung lanauan dengan indeks plastisitas dan kadar air yang tinggi | <100 (indikasi) |
| S2 | Endapan tanah likuifiable, dari clay yang sensitive, atau tanah lain yang tidak termasuk dalam tipe A-E atau S1 | |

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tahapan dan Alur Penelitian

Tahapan pelaksanaan penelitian tugas akhir ini dapat digambarkan dengan diagram alir sebagai berikut :



Gambar 3. 1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir

3.1.1 Kajian Pustaka

Kajian pustaka dilakukan sebelum dilakukannya penelitian tugas akhir ini, seperti kajian literatur yang akan mendasari pada pengerjaan disetiap tahapannya. Pustaka-pustaka yang diambil dapat dari buku, paper, journal, internet maupun peta yang berkaitan dengan masalah yang akan muncul pada penelitian. Tujuan kajian pustaka adalah sebagai dasar atau acuan dalam pengerjaan dalam menjawab permasalahan dari penelitian yang akan dilakukan. Dalam penelitian tugas akhir ini dilakukan kajian berkaitan dengan gelombang seismik, sifat fisis dan mekanika tanah, mikrotremor, spektrum H/V dalam gelombang permukaan, karakteristik dan analisis spektrum H/V mikrotremor, inversi

HVSR, klasifikasi tanah berdasarkan data mikrotremor serta geologi di daerah penelitian. Kajian pustaka ini telah disajikan di dalam bab II tugas akhir ini.

3.1.2 Studi Lapangan (Pra Akuisisi Data)

Sebelum dilakukan pengambilan data lapangan, studi lapangan dilakukan agar tidak terjadi hambatan-hambatan dalam pelaksanaan pengambilan data. Studi lapangan yang dilakukan diantaranya menentukan lintasan yang akan diambil berdasarkan survey geologi pada daerah penelitian, menentukan peralatan pendukung yang diperlukan berdasarkan kondisi daerah penelitian, serta mencatat hal-hal yang bisa mengganggu proses pengambilan data termasuk hal-hal yang berkaitan dengan perizinan pelaksanaan penelitian tugas akhir ini.

3.1.3 Akuisisi Data Lapangan

Pada tahap ini dilakukan orientasi lapangan dan pengukuran mikrotremor pada titik-titik pengukuran yang telah direncanakan sebelumnya. Dalam pelaksanaan pengambilan data, proses pengambilan data dimulai dari tempat yang jauh dari gangguan noise. Dengan demikian, diharapkan data yang diperoleh akan lebih akurat, terfokus, efektif dan efisien.

Peralatan yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini antara lain sebagai berikut :

- a. Note book (Buku Catatan)
- b. Seismograf 3 komponen Merk SARA, Italy dengan spesifikasi :
 - *Power Suply* 10-16 Vdc
 - CPU AVR RISC *Processor* @11.592 MHz
 - A/D Converter 24 bit
- c. GPS 2 buah
- d. Kompas 2 buah
- e. Seperangkat Aki 12 Volt
- f. Laptop

3.2. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian adalah di desa Olak Alen, Kecamatan Selorejo, Blitar. Lama pengukuran pada masing-masing titik pengukuran adalah 30 menit dengan jumlah titik pengukuran 46 titik yang di plot dalam peta (Gambar 3.2), sedangkan Koordinat setiap titik perekaman seperti pada Tabel 3.1.



Gambar 3. 2 Lokasi Titik Pengukuran Mikrotremor

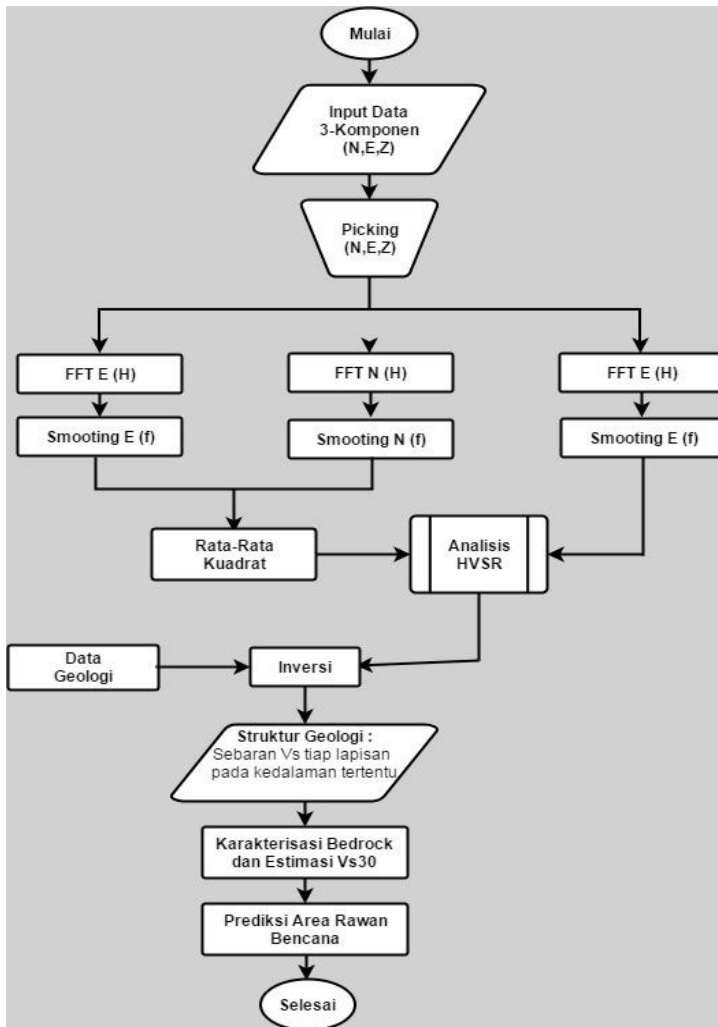
Tabel 3. 1 Koordinat Posisi Titik Pengukuran

| KODE | Koordinat | | KODE | Koordinat | |
|------|-----------|---------|------|-----------|---------|
| | X | Y | | X | Y |
| P 01 | 658715 | 9100498 | P 24 | 658646 | 9100678 |
| P 02 | 658719 | 9100519 | P 25 | 658565 | 9100476 |
| P 03 | 658724 | 9100544 | P 26 | 658569 | 9100503 |
| P 04 | 658728 | 9100568 | P 27 | 658573 | 9100528 |
| P 05 | 658732 | 9100594 | P 28 | 658577 | 9100552 |
| P 06 | 658738 | 9100620 | P 29 | 658580 | 9100579 |
| P 07 | 658743 | 9100650 | P 30 | 658585 | 9100604 |
| P 08 | 658748 | 9100690 | P 31 | 658589 | 9100632 |
| P 09 | 658663 | 9100488 | P 32 | 658595 | 9100674 |
| P 10 | 658669 | 9100514 | P 33 | 658515 | 9100471 |
| P 11 | 658673 | 9100540 | P 34 | 658518 | 9100496 |
| P 12 | 658677 | 9100565 | P 35 | 658522 | 9100521 |
| P 13 | 658683 | 9100590 | P 36 | 658526 | 9100546 |
| P 14 | 658687 | 9100620 | P 37 | 658530 | 9100570 |

| KODE | KORDINAT | | KODE | KOORDINAT | |
|------|----------|---------|------|-----------|-----------|
| | X | Y | | X | Y |
| P 15 | 658692 | 9100646 | P 38 | 658534 | 9100598 |
| P 16 | 658699 | 9100684 | P 39 | 658540 | 9100642 |
| P 17 | 658614 | 9100482 | P 40 | 658544 | 9100667 |
| P 18 | 658618 | 9100508 | P 41 | 658463 | 9100464 |
| P 19 | 658622 | 9100533 | P 42 | 658477 | 9100559 |
| P 20 | 658626 | 9100559 | P 43 | 658494 | 9100663 |
| P 21 | 658631 | 9100585 | P 44 | 658291 | 9100463 |
| P 22 | 658635 | 9100610 | P 45 | 658327.92 | 9100565.7 |
| P 23 | 658639 | 9100636 | P 46 | 658341.94 | 9100665.6 |

3.3 Proses Pengolahan Data Penelitian

Proses pengolahan data dilihat pada gambar 3.3 harus melalui berbagai *step*. Berikut ulasan rinci setiap *step* yang dilalui.

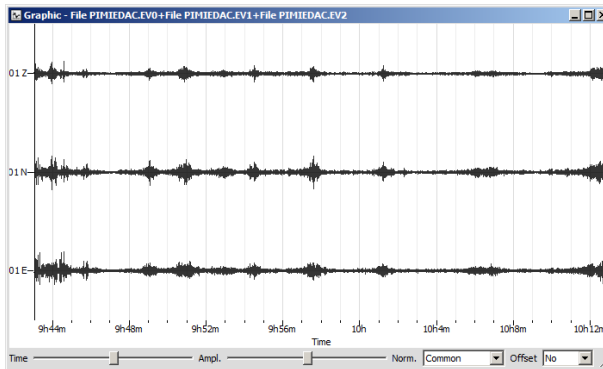


Gambar 3. 3 Proses Pengolahan Data Mikrotremor

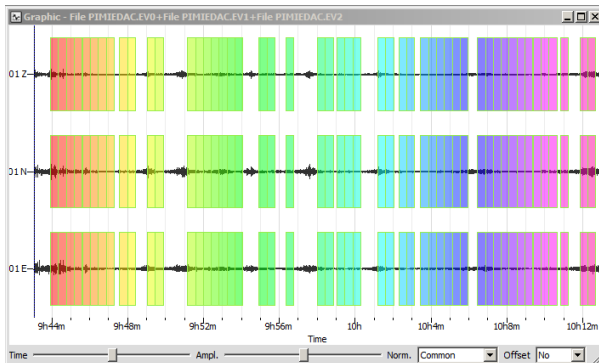
3.3.1 Pengolahan Data HVSR

Pengolahan ini dilakukan untuk mendapatkan rasio spectrum horizontal terhadap vertikal (H/V) dari semua jenis sinyal getaran (ambient noise gempa bumi, cuaca, maupun aktifitas manusia). Untuk pemrosesan H/V, data yang digunakan harus memiliki 3 komponen sinyal yaitu *North-South*, *East-West* dan *vertical*, serta sampel yang cukup (dalam waktu) untuk bisa diolah. Dari hasil

akuisisi data dilapangan tersebut di dapatkan tiga komponen sinyal dalam fungsi waktu (Gambar (3.4) yang kemudian dilakukan picking untuk memilih data atau menghilangkan noise yang dihasilkan seperti dari pergerakan manusia binatang dan lainnya.



Gambar 3. 4 Data trace 3-komponen dalam domain waktu



Gambar 3. 5 Picking dengan window yang telah diseleksi

Pengolahan ini menggunakan software *Geopsy*, dimana untuk data hasil perekaman dengan SL07 Seismograph (Sara) adalah berupa seismogram 3 komponen yang berformat *EV0*, *EV1*, dan *EV2*. Data dibagi dalam beberapa window dengan frekuensi sampling 100 Hz untuk data Sara. Berdasarkan SESAME European Research Project (2004), disarankan pada penentuan panjang window memiliki minimal persyaratan :

$$lw = \frac{10}{f_0} \quad (3.1)$$

Dalam hal ini lw adalah panjang window dan f_0 adalah frekuensi resonansi, sehingga memiliki minimal 10 cycle signifikan pada masing-masing window. Berikut adalah langkah-langkah yang harus dilalui agar didapatkan kurva HVSR.

a. *Fast Fourier Transform (FFT)*

Sesame (2004) menganjurkan dalam analisis HVSR digunakan minimal 10 window stasioner antara 20-50 detik *non-overlapping*. Kemudian setiap window dilakukan analisis spektrum *Fourier* yang berfungsi mengubah data mikrotremor awal berupa domain waktu (*time series*) menjadi domain frekuensi. Algoritma *Fast Fourier Transform* (FFT) digunakan dalam analisis spektrum *Fourier* karena data awal akuisisi dalam bentuk diskrit.

b. *Smoothing*

Hasil dari proses FFT masih berupa komponen yang belum halus, maka dari itu dilakukan filtering. Filter *smoothing* Konno dan Ohmachi (1998) dengan koefisien *bandwith* sebesar 40 dan cosine taper 5%. Persamaan analitik *Smoothing* Konno dan Ohmachi (1998) secara umum sebagai berikut :

$$W_p(f) = \frac{\sin \left[\left(\log_{10} \left(\frac{f}{f_0} \right) \right)^b \right]}{\left[\left(\log_{10} \left(\frac{f}{f_0} \right) \right)^b \right]^4} \quad (3.2)$$

Dengan : $W_p(f)$ = Fungsi pembobotan

f = Frekuensi

f_0 = frekuensi pusat yang dihaluskan

b = koefisien *bandwidth*

c. Analisis HVSR

Setelah dilakukan FFT dan *smoothing*, maka selanjutnya dilakukan penggabungan komponen horizontal dan vertikal kedalam analisis HVSR berupa *spectral* rasio amplitude spektrum *Fourier* dari persamaan berikut :

$$R(t) = \left[\frac{\sqrt{FNS(T)^2 + FEW(T)^2}}{FZ(T)} \right] \quad (3.3)$$

Dengan $R(T)$ adalah spektrum rasio vertikal terhadap horizontal, F_{NS} adalah spektrum fourier di NS dan F_{EW} adalah spektrum fourier di EW serta F_Z adalah spektrum fourier di Z (vertikal). Selanjutnya rata-rata spektrum HVSR diplot untuk setiap titik pengukuran setelah diperoleh sepektrum HVSR masing-masing *window*.

d. Inversi dengan OpenHVS

OpenHVS merupakan software untuk menghasilkan model struktur bawah permukaan dari kurva HVSR dengan menggunakan metode propagasi Monte Carlo. Software ini dituliskan dalam software Matlab basis GUI. Dalam penggunaan OpenHVS dalam proses inversi ada beberapa data yang harus dipersiapkan.

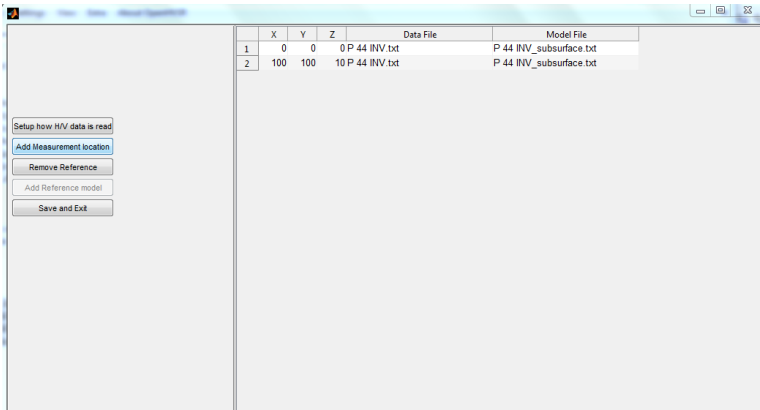
Berikut langkah pengolahan inversi dengan OpenHVS :

1. Perhitungan data konstrain :

- Analisis densitas dari data sekunder (*soil boring*),
- Perhitungan nilai V_p , V_s , Q_p , dan Q_s dari data densitas dengan persamaan 2.3.

2. Proses Inversi OpenHVS

Sebelum melakukan inversi kita harus menyiapkan data subsurface hasil perhitungan parameter model yang didapatkan dari data geologi dan kurva HVSR (puncak HVSR dan frekuensi). Kurva HVSR dan data subsurface diletakkan dalam satu folder yang kemudian akan dipanggil dalam proses pembuatan file *project* (Gambar 3.6) untuk inversi.



Gambar 3. 6 Tampilan *project creator*

Dalam *project creator* ini sudah dilengkapi dengan posisi pengukuran (koordinat X dan Y) dan termasuk topografi. Untuk membuatnya pilih pada menu “file >> *create/edit project*”, ini akan langsung akan mengarah pada tempat penyimpanan file kurva HVSR dan data subsurface yang telah di *setting* sebelumnya. Setelah selesai data di *input* lalu klik *save and exit*, maka otomatis file *project* tersimpan dalam folder yang telah ditentukan sebelumnya dan siap untuk dilakukan inversi.

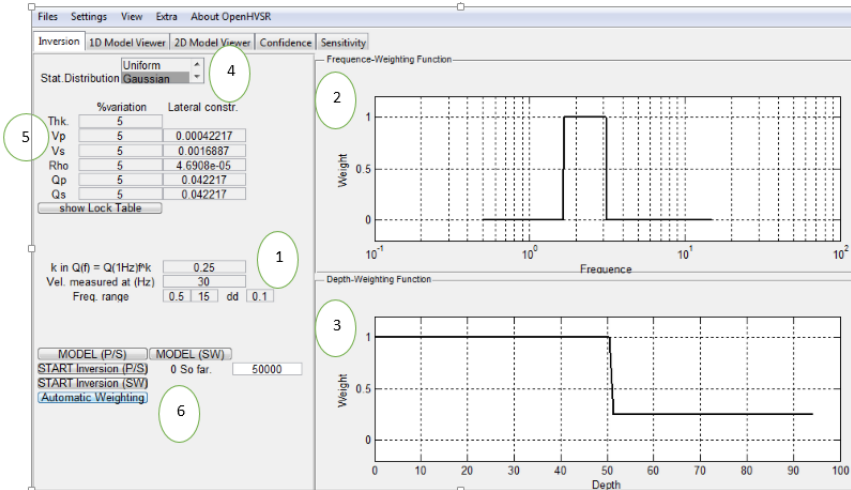
Selanjutnya proses pengaturan forward modelling dan inversi (Gambar 3.7) dapat dijelaskan sebagai berikut. (1) Berisi parameter pengontrol selama proses pemodelan kedepan (FWD), yang juga digunakan dalam proses inversi. Pada kasus ini, faktor atenuasi (Q_p , Q_s) sangat bergantung terhadap nilai frekuensi dan dapat dirumuskan :

$$Q = Q_0 f^k \quad (3.4)$$

Dengan Q_0 adalah faktor atenuasi pada frekuensi 1 Hz dan untuk nilai k dianggap konstan yang diasumsikan sama untuk semua lokasi pengukuran. Sedangkan *range* frekuensi disesuaikan dengan *input* kurva HVSR yang diambil pada saat pengolahan di *geopsy* (pada penelitian ini 0.5 Hz-15 Hz). Setelah parameter pemodelan kedepan diatur selanjutnya yaitu parameter pengontrol inversi. Pada gambar 3.7 pada pengaturan (2) menunjukkan bahwa fungsi pembobotan yaitu yang menjadi fokus selama proses inversi sesuai dengan hasil pengolahan kurva HVSR. Hal ini dapat dilakukan dengan mengklik kanan pada jendela tersebut lalu lakukan “*modify weighing function*” hal tersebut juga dilakukan pada tab (3), namun pada tab (3) merupakan fungsi pembobotan terhadap kedalaman. Sedangkan untuk statistik distribusi sebarannya dapat dipilih distribusi *uniform* atau *gaussian* (4). Pada penelitian

digunakan distribusi probabilitas *Gaussian* (distribusi normal) karena distribusi ini paling sering digunakan dalam analisis statistik.

Sedangkan pada tab (5) digunakan untuk mengatur persentase perubahan maksimum pada setiap parameter terhadap parameter lainnya. Untuk memulai inveri dapat dilakukan pada pengaturan (6). Pada pengaturan nomor (1) samapai (6) sangat berpengaruh terhadap semua tabs (model 1D dan 2D) termasuk sensitivitasnya.



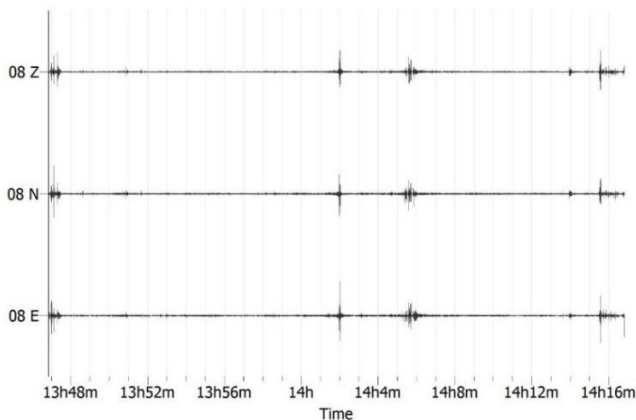
Gambar 3. 7 Proses Pengaturan Pemodelan dan Invesi

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

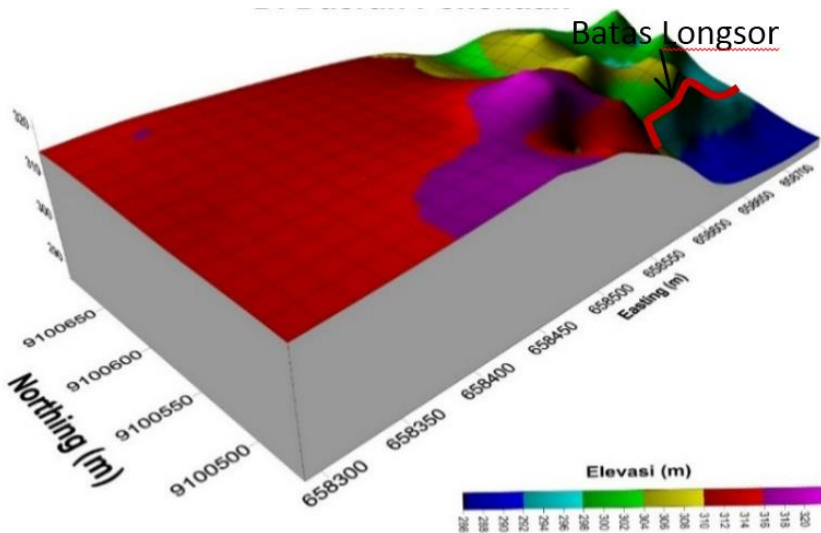
4.1 Analisis Data Eksperimen

Pengambilan data eksperimen metode mikrotremor HVSR dilakukan di dusun Sumberejo desa Olak Alen, Blitar. Desain pengukuran dilakukan dengan memotong area gerakan tanah dan membentuk grid dengan luasan 400 x 200 meter. Dilakukan dengan desain seperti itu agar didapatkan perbandingan respon hasil pengukuran mikrotremor di daerah yang telah terjadi gerakan tanah terhadap daerah sekitarnya dan untuk melihat arah kemenerusan gerakan tanah yang mungkin akan terjadi. Proses pengambilan data dilakukan dengan meletakkan seismometer Sara SL-07 mengarah ke Utara dengan posisi *bull eye* tepat ditengah. Untuk menghindari gangguan *noise* seismometer di tutup dengan payung dan menghindari pengukuran yang dekat dengan pepohonan sehingga proses perekaman *noise* dari permukaan tanah lebih baik. Lama perekaman yang dilakukan adalah 1800 detik dengan frekuensi sampling 100 Hz. Perekaman dilakukan dengan menggunakan software *HyperTerminal* dengan format data yang dihasilkan adalah berbentuk *EV0*, *EV1* dan *EV2*.

Dibawah ini merupakan data lapangan metode mikrotremor di daerah penelitian (Gambar 4.1) beserta elevasi setiap titik pengukuran yang diukur dengan menggunakan GPS Garmin (Gambar 4.2).



Gambar 4. 1 Data lapangan hasil perekaman mikrotremor titik P-08



Gambar 4. 2 Kontur elevasi pada titik pengukuran mikrotremor

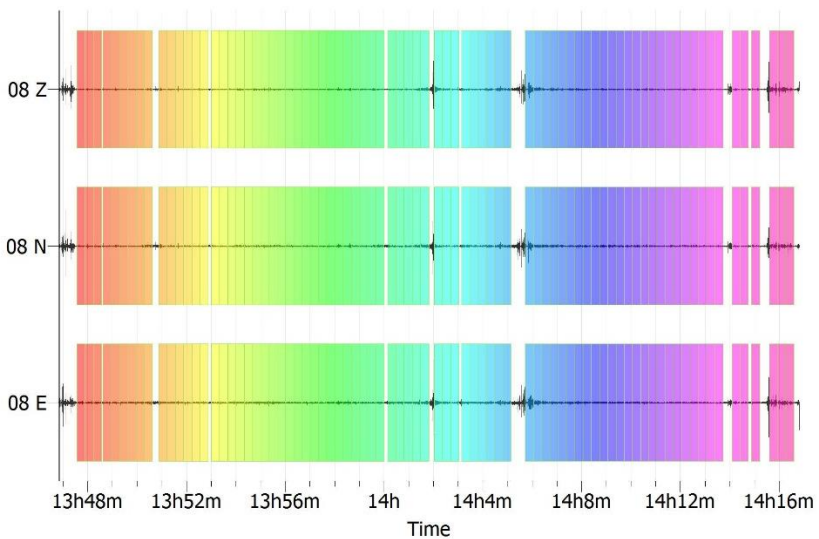
Gambar 4.1 merupakan data lapangan pada titik pengukuran P-08 yang terdiri atas tiga komponen seismogram, yaitu komponen vertikal (Z), komponen horizontal *North South* (N) dan komponen horizontal *East West* (E). Data tersebut merupakan hasil perekaman seismometer selama durasi 1800 detik yang akan dianalisis untuk mendapatkan kurva horizontal terhadap vertikal (H/V). Berdasarkan data lapangan pada gambar 4.1 menunjukkan bahwa hasil pengukuran mikrotremor masih dipenuhi oleh *noise* sehingga amplitude yang dihasilkan tidak stasioner. *Noise* tersebut dapat bersumber dari gelombang permukaan maupun dari aktivitas manusia. Hal ini terbukti pada menit 13h47m (waktu pengukuran mikrotremor) pada gambar diatas, pada waktu tersebut peneliti membuat getaran di sekitar titik pengukuran dan melakukan hal yang sama di menit 14h16m. Oleh karena itu durasi pengukuran dalam akuisisi mikrotremor harus diperhatikan, karena untuk bisa diolah data mikrotremor harus memiliki sampel yang cukup (dalam waktu).

Meskipun pada saat pengukuran telah menghindari dari gangguan-gangguan *noise* proses windowing harus tetap dilakukan. Karena yang dianalisis adalah data mikrotremor sehingga semua event transient yang berupa gelombang akibat mobil atau orang berjalan serta gempa bumi harus dibuang. Getaran yang diharapkan dari pengukuran mikrotremor adalah aktivitas getaran

diri antar partikel di dalam tanah itu sendiri. Proses windowing dilakukan pada analisis selanjutnya yaitu pada analisis pengolahan data mikrotremor untuk mendapatkan spektrum komponen vertical terhadap horizontal atau disebut kurva H/V.

4.2 Analisis HVSr Mikrotremor

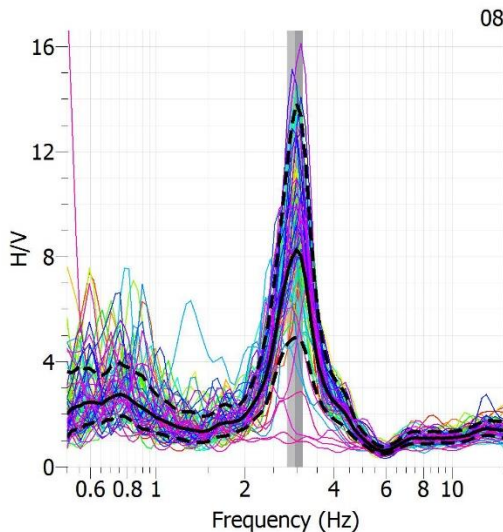
Metode horizontal to vertical spectral ratio (HVSr) dapat digunakan untuk mikrozonasi kerusakan bangunan akibat gerakan tanah yang disebabkan oleh geologi lokal. (Sungkono & Santosa, 2011) dalam penelitiannya mengatakan bahwa kerusakan bangunan akibat gempabumi terjadi pada parameter HVSr amplifikasi tinggi dan frekuensi rendah. Karena gelombang yang direkam pada pengukuran mikrotremor ada pengaruh dari luar termasuk gelombang permukaan, maka dalam proses *windowing* perlu diperhatikan bahwa sinyal yang dipilih harus stasioner. Hal tersebut dilakukan agar peak dari kurva HVSr yang dihasilkan dapat mempresentasikan geologi setempat. Artinya, getaran yang dipilih merupakan fungsi transfer antara getaran gelombang pada sedimen dan *bedrock*.



Gambar 4. 3 Pemilihan window pada titik P-08

Pada penelitian ini proses pemilihan *time window* untuk mendapatkan kurva H/V dilakukan dengan menggunakan *software Geopsy*. Pemilihan *time window* pada penelitian ini digunakan lebar *window* 20.00 s agar hasil yang didapatkan akan *riable* dengan frekuensi sebesar 0.5 Hz. Berdasarkan persamaan 3.1 menjelaskan bahwa dalam penentuan *length window* bergantung

pada target frekuensi terendah yang ingin dicapai. Artinya pada penelitian ini batas frekuensi terendah yang dapat dipercaya adalah 0.5 Hz. Hal ini sesuai dengan yang direkomendasikan oleh SESAME (lihat lampiran) yaitu untuk target frekuensi terendah 0.5 Hz maka data dapat dipercaya apabila lebar *window* 20.00 s dan minimum sinyal yang digunakan adalah 400 s dengan minimum durasi pengukuran 1200 s (20 menit). Pada gambar 4.3 menunjukkan bahwa hasil observasi mikrotremor pada titik P-08 digunakan durasi sinyal selama 800 s dengan jumlah window yang dipilih sebanyak 80. Dari proses *windowing* tersebut menunjukkan bahwa telah memenuhi syarat yang ditetapkan oleh SESAME, artinya hasilnya sudah dapat dipercaya. Selanjutnya untuk pendeteksian sinyal transient dilakukan perbandingan *short term average* (STA) dan *long term average* (LTA) dan juga menggunakan algoritma anti triggering. Pada pengolahan data ini digunakan anti triggering *raw signal* dengan nilai STA 1.00 s dan LTA 30.00 s. Untuk sinyal yang tidak sesuai dapat dilakukan *remove*, sehingga dihasilkan sinyal sesuai dengan yang diharapkan (Gambar 4.3).



Gambar 4. 4 Kurva HVSR titik P-08

Selanjutnya, proses *fast fourier transform* (FFT) dihitung pada masing-masing komponen dari sinyal yang dipilih dan estimasi yang reliable dari kurva HVSR. Dalam proses analisa kurva HVSR menggunakan *smoothing* yang diusulkan Konno dan Ohmachi dengan koefisien bandwidth sebesar 40 dan taper cosine sebesar 5%. Data yang sudah dilakukan transformasi fourier pada tiap

komponen (N-S, E-W, dan vertikal), dianalisa dengan metode HVSR yang di dapat dari akar dari amplitude spektrum Fourier horizontal (*Nourth-South* dan *East-West*) dibagi dengan spektrum Fourier vertikal. Dari analisa HVSR kemudian di dapatkan kurva HVSR dan standar deviasinya (gambar 4.4). Pada gambar tersebut menunjukkan bahwa kurva hitam merupakan rata-rata dari kurva yang berwarna. Sedangkan dua kurva hitam yang berupa garis putus-putus menunjukkan standar deviasi. Nilai frekuensi dominan dan amplifikasi tanah ditunjukkan dengan kurva berwarna abu-abu. Pada titik pengukuran P-08, berdasarkan kurva tersebut memiliki nilai frekuensi dominan 2.95 Hz dan nilai amplifikasi 8.16. Hasil pengolahan mikrotremor di setiap titik dapat dilihat pada table 4.1 di bawah ini. Untuk setiap titik dilakukan koreksi untuk mengetahui kurva H/V yang dihasilkan sudah memenuhi kriteria berdasarkan reabilitas dan kejelasan puncak HVSR. Kriteria tersebut berdasarkan *guidline* SESAME dan hasil koreksi setiap titik pengukuran dapat dilihat pada Lampiran.

Tabel 4. 1 Nilai Frekuensi Natural dan Amplifikasi

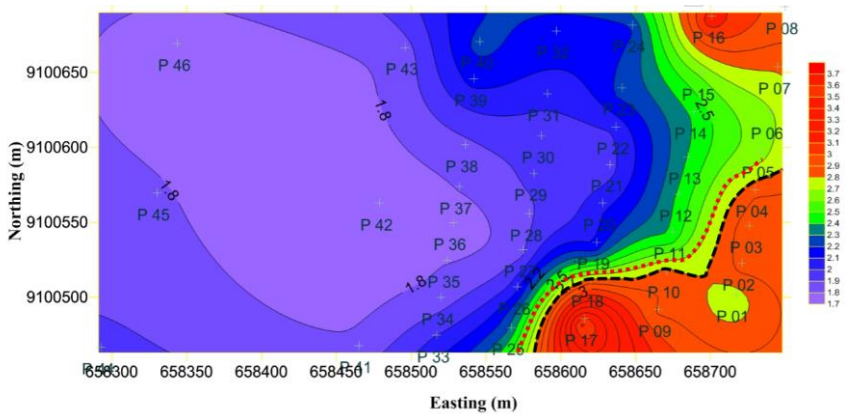
| NO | KODE | KOORDINAT | | FREKUENSI (HZ) | PUNCAK HVSR |
|----|------|-----------|---------|-------------------|----------------|
| | | X | Y | | |
| 1 | P-01 | 658715 | 9100498 | 2.72 | 2.02 |
| 2 | P-02 | 658719 | 9100519 | 2.92 | 7.38 |
| 3 | P-03 | 658724 | 9100544 | 2.97 | 5.15 |
| 4 | P-04 | 658728 | 9100568 | 2.89 | 3.08 |
| 5 | P-05 | 658732 | 9100594 | 2.66 | 5.58 |
| 6 | P-06 | 658738 | 9100620 | 2.67 | 8.03 |
| 7 | P-07 | 658743 | 9100650 | 2.80 | 7.53 |
| 8 | P-08 | 658748 | 9100690 | 2.95 | 8.16 |
| 9 | P-09 | 658663 | 9100488 | 2.89 | 4.80 |
| 10 | P-10 | 658669 | 9100514 | 2.89 | 4.80 |
| 11 | P-11 | 658673 | 9100540 | 2.42 | 7.68 |
| 12 | P-12 | 658677 | 9100565 | 2.41 | 6.76 |
| 13 | P-13 | 658683 | 9100590 | 2.40 | 4.38 |
| 14 | P-14 | 658687 | 9100620 | 2.40 | 7.10 |
| 15 | P-15 | 658692 | 9100646 | 2.58 | 5.18 |
| 16 | P-16 | 658699 | 9100684 | 3.17 | 3.10 |
| 17 | P-17 | 658614 | 9100482 | 3.63 | 4.66 |
| 18 | P-18 | 658618 | 9100508 | 2.94 | 5.35 |
| 19 | P-19 | 658622 | 9100533 | 2.12 | 6.67 |

| 20 | P-20 | 658626 | 9100559 | 2.08 | 6.78 |
|----|------|-----------|---------|-------------------|----------------|
| 21 | P-21 | 658631 | 9100585 | 1.95 | 5.62 |
| NO | KODE | KOORDINAT | | FREKUENSI (HZ) | PUNCAK HVSr |
| | | X | Y | | |
| 22 | P-22 | 658635 | 9100610 | 2.00 | 3.37 |
| 23 | P-23 | 658639 | 9100636 | 2.23 | 4.44 |
| 24 | P-24 | 658646 | 9100678 | 2.17 | 7.98 |
| 25 | P-25 | 658565 | 9100476 | 2.32 | 4.68 |
| 26 | P-26 | 658569 | 9100503 | 2.08 | 7.48 |
| 27 | P-27 | 658573 | 9100528 | 1.88 | 6.60 |
| 28 | P-28 | 658577 | 9100552 | 1.88 | 9.03 |
| 29 | P-29 | 658580 | 9100579 | 1.92 | 7.49 |
| 30 | P-30 | 658585 | 9100604 | 1.94 | 7.46 |
| 31 | P-31 | 658589 | 9100632 | 2.02 | 7.24 |
| 32 | P-32 | 658595 | 9100674 | 2.16 | 7.81 |
| 33 | P-33 | 658515 | 9100471 | 2.01 | 6.43 |
| 34 | P-34 | 658518 | 9100496 | 1.86 | 7.03 |
| 35 | P-35 | 658522 | 9100521 | 1.80 | 7.58 |
| 36 | P-36 | 658526 | 9100546 | 1.76 | 7.64 |
| 37 | P-37 | 658530 | 9100570 | 1.80 | 8.96 |
| 38 | P-38 | 658534 | 9100598 | 1.86 | 9.12 |
| 39 | P-39 | 658540 | 9100642 | 2.12 | 6.83 |
| 40 | P-40 | 658544 | 9100667 | 2.23 | 8.43 |
| 41 | P-41 | 658463 | 9100464 | 1.82 | 6.05 |
| 42 | P-42 | 658477 | 9100559 | 1.75 | 7.84 |
| 43 | P-43 | 658494 | 9100663 | 1.84 | 6.88 |
| 44 | P-44 | 658291 | 9100463 | 1.94 | 2.72 |
| 45 | P-45 | 658328 | 9100566 | 1.82 | 4.98 |
| 46 | P-46 | 658342 | 9100666 | 1.77 | 6.07 |

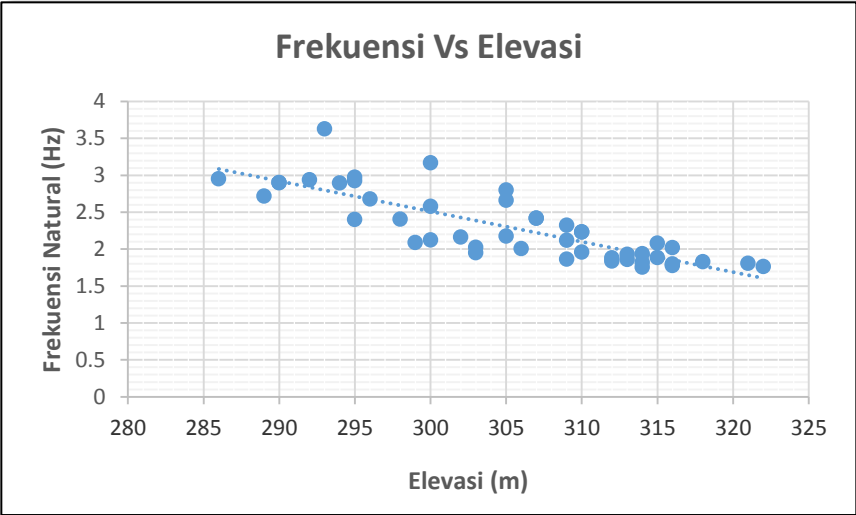
4.2.1 Analisis Frekuensi Dominan

Hasil analisis dari kurva HVSr adalah frekuensi natural dan puncak HVSr yang mencerminkan karakteristik dinamik di daerah setempat. Pada penelitian ini rentang nilai frekuensi natural yang di dapatkan bervariasi yaitu berkisar 1.77 Hz - 3.63 Hz. Berdasarkan peta topografi (gambar 4.2) yang menunjukkan bahwa daerah penelitian memiliki elevasi yang semakin tinggi ke arah barat. Sedangkan berdasarkan grafik *crossplot* antara frekuensi dan elevasi setempat

(gambar 4.6), tren dari nilai frekuensi berbanding terbalik dengan topografi. Pada gambar tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi elevasi atau topografi diikuti dengan tren menurunnya nilai frekuensi. Jadi pada penelitian ini nilai dari frekuensi dikontrol oleh topografi yang erat hubungannya dengan kedalaman *bedrock* atau ketebalan dari nilai lapisan sedimen.



Gambar 4. 5 Peta persebaran frekuensi natural



Gambar 4. 6 Grafik crosplot nilai frekuensi vs elevasi

Sedangkan Parolai (2002) dan Chen (1993) dalam Sutrisno (2014) menyatakan bahwa frekuensi natural erat hubungannya dengan kedalaman *bedrock*. Keduanya memiliki hubungan berbanding terbalik, artinya nilai frekuensi yang rendah berasosiasi dengan kedalaman *bedrock* yang dalam. Jadi berdasarkan analisis frekuensi natural dapat diprediksi bahwa lapisan sedimen lunak semakin tebal ke arah barat. Namun, berdasarkan penelitian Sungkono (2011) frekuensi natural tidak hanya dipengaruhi oleh kedalaman *bedrock* (ketebalan sedimen) tapi juga dikontrol oleh kecepatan gelombang geser. Oleh karena itu, untuk mengkarakterisasi *bedrock* diperlukan inversi untuk mendapatkan nilai kecepatan geser bawah permukaan yang akan digunakan untuk mendeliniasi batas-batas lapisan sedimen lunak dan sedimen keras. Analisis frekuensi tanah diperlukan untuk mengkarakterisasi daerah penelitian yang kemudian akan ditarik hubungan dengan kecepatan gesernya.

Pada gambar 4.5 merupakan kontur dari persebaran nilai frekuensi natural pada daerah penelitian dimana nilainya relatif seragam, namun pada daerah yang telah mengalami longsor memiliki respon perbedaan yang sangat signifikan dari daerah sekitarnya. Hal ini disebabkan karena lapisan lunak yang tebal sudah tergerus sehingga menyebabkan lapisan *bedrock* lebih dekat dengan permukaan. Berdasarkan observasi di lapangan lapisan tanah yang tergerus memiliki ketebalan lebih dari 20 meter. Berdasarkan gambar tersebut garis kontur yang berwarna hitam putus-putus merupakan area yang telah mengalami longsor dan lapisan tanahnya telah tergerus habis oleh hujan. Yaitu terletak pada titik pengukuran P-01, P-02, P-03, P-04, P-05, P-09, P-10, P-17, dan P-18 dengan respon frekuensi 2.9-3.7 Hz. Pada titik pengukuran P-08 dan P-16 juga memiliki respon frekuensi yang cukup tinggi yaitu sama dengan daerah yang telah mengalami amblesan atau gerusan. Hal ini sesuai dengan kondisi geologi setempat yang memiliki elevasi yang rendah sehingga asosiasi dengan lapisan *bedrock* lebih dangkal dengan asumsi deliniasi batas geologi bawah permukaan datar (*flat*). Sesuai dengan persamaan $f_0 = V_s/4h$, dengan V_s dan h berturut-turut merupakan kecepatan gelombang geser dan kedalaman *bedrock*. Hubungan antara kedalaman *bedrock* (h) dan frekuensi natural (f_0) berbanding terbalik, jika respon frekuensi dari pengukuran mikrotremor tinggi maka akan memiliki kedalaman *bedrock* lebih dangkal dibandingkan dengan yang memiliki respon frekuensi yang lebih kecil.

Sedangkan garis kontur putus-putus yang berwarna merah pada gambar 4.5 diatas merupakan batas area yang mengalami *landslide* yaitu pada titik pengukuran P-25, P-19, P-11, P-06 dan P-07. Pada titik tersebut berdasarkan observasi di lapangan dan data topografi terletak pada *slope* yang miring,

sehingga area ini diprediksi merupakan titik yang paling rawan terhadap longsor (*landslide*) susulan jika terjadi hujan terus-menerus. Meskipun berdasarkan nilai frekuensi pada titik tersebut memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan titik pengukuran pada kontur yang berwarna biru (1.7-2.4 Hz). Namun pada titik pengukuran pada kontur yang berwarna biru memiliki efek kerusakan terhadap bangunan yang paling parah apabila terjadi getaran atau gempa bumi.

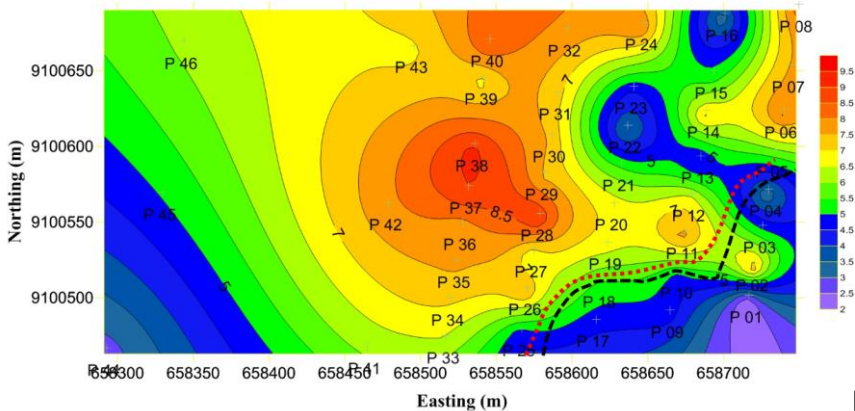
Berdasarkan tabel klasifikasi tanah berdasarkan nilai frekuensinya (tabel 2.2) di daerah penelitian termasuk jenis III dan jenis IV yang dicirikan dengan ketebalan sedimen permukaan yang sangat tebal. Hal ini sesuai berdasarkan hasil observasi di lapangan bahwa tanah yang tersingkap akibat *landslide* memiliki ketebalan lebih dari 20 meter. Sedangkan berdasarkan nilai periode dominan yang merupakan fungsi kebalikan nilai frekuensi sesuai persamaan 2.8 daerah penelitian berada pada rentang 0.27-0.58 detik. Nilai periode dominan ini merupakan waktu yang dibutuhkan gelombang mikrotremor untuk merambat melewati lapisan endapan sedimen permukaan. Berdasarkan rentang nilai periode dominan tersebut klasifikasi tanah menurut Kanai termasuk jenis III dan IV sedangkan klasifikasi menurut Omote-Nakajima termasuk jenis B dan Jenis C. Sesuai dengan tabel 2.3 klasifikasi tanah jenis B dan C memiliki karakteristik tanah berturut-turut yaitu lunak dan sangat lunak.

4.2.2 Analisis Puncak HVSR

Nilai Puncak HVSR berhubungan dengan perbandingan antara kontras impedansi lapisan permukaan dengan lapisan dibawahnya. Perubahan nilai puncak HVSR suatu daerah disebabkan karena perubahan sifat fisik batuan seperti terjadinya pelapukan. (Mulyatno, 2013) menyatakan pada batuan yang sama, nilai puncak HVSR dapat bervariasi sesuai dengan tingkat deformasi dan pelapukan pada tubuh batuan tersebut. Sedangkan menurut Sungkono & Santosa (2011) puncak kurva HVSR dipengaruhi oleh Vs, densitas, Vp, dan Qs sehingga dapat diketahui bahwa daerah yang rawan kerusakan bangunan akibat getaran tanah ialah daerah yang permukaannya tersusun atas sedimen lunak (gambut, pasir, pasir lanauan) dengan *bedrock* yang keras. Karena pada geologi yang seperti ini, kontras impedansinya besar. Pada penelitian ini didapatkan nilai puncak HVSR berkisar dari 2 sampai 9.

Pada gambar 4.7 menunjukkan sebaran nilai puncak HVSR pada daerah penelitian. Pada gambar tersebut menunjukkan bahwa pada penelitian ini didominasi oleh nilai puncak HVSR yang tinggi. Hal ini sesuai dengan pernyataan diatas (Mulyatno, 2013; Sungkono dan Santosa, 2011) daerah

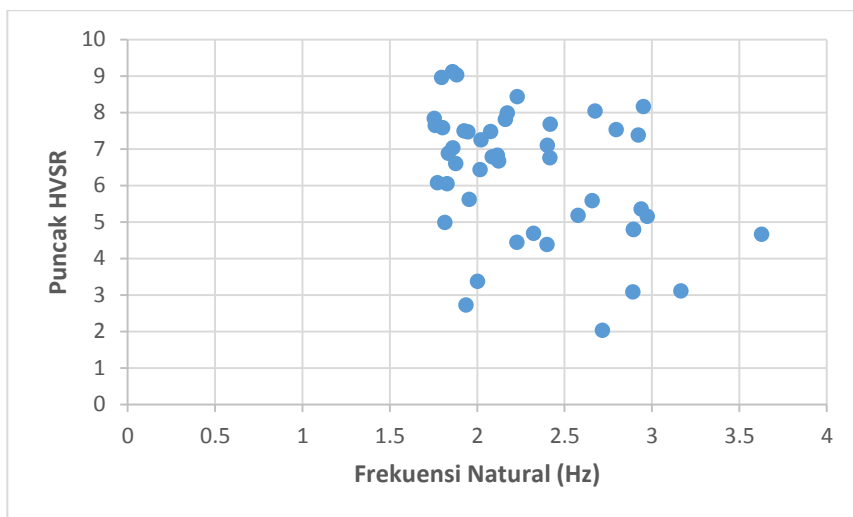
penelitian berdasarkan peta geologi tersusun pasir dan pasir lanauan. Serta berdasarkan observasi dilapangan menunjukkan bahwa area penelitian pada lapisan sedimen permukaan sudah mengalami pelapukan. Sehingga hal ini menyebabkan pada daerah penelitian didominasi oleh nilai puncak HVSR yang tinggi. Menurut Nakamura (2000) parameter puncak HVSR yang dapat merusak bangunan adalah berkisar antara > 3 dan berasosiasi dengan frekuensi rendah (Sutrisno, 2014). Berdasarkan pernyataan tersebut maka dapat disimpulkan bahwa di daerah penelitian dapat dikategorikan sebagai daerah yang rawan apabila ada getaran gempa bumi karena dominasi nilai frekuensi dan puncak HVSR-nya. Namun, kerusakan yang paling besar apabila terjadi gempa bumi yaitu terletak pada titik pengukuran P-28, P-29, P-36, P-37, P-38 dan P-42. Nilai puncak HVSR diatas 3 tersebar di seluruh area penelitian kecuali titik pengukuran P-01 dan P-44 yang memiliki nilai puncak HVSR dibawah 3. Berdasarkan sebaran nilai puncak HVSR tersebut perbedaan topografi bukanlah salah satu faktor yang mempengaruhi nilai dari puncak HVSR.



Gambar 4. 7 Peta persebaran amplifikasi tanah

Jika dilihat dari sebaran nilai frekuensi dan puncak HVSR, tidak ada hubungan khusus diantara keduanya (Gambar4.8). Oleh karena pengaruh kedalaman lapisan sedimen permukaan tidak terlalu berpengaruh terhadap variasi nilai puncak HVSR. Hal ini sesuai dengan pernyataan (Mulyatno, 2013; Sungkono dan Santosa, 2011) yang di dukung oleh penelitian (Warnana, Soemitro, & Utama, 2011) yang menyatakan bahwa nilai puncak HVSR lebih dominan dipengaruhi oleh faktor geologi. Dari gambar tersebut dapat dilihat

bahwa antara nilai frekuensi dan puncak HVSr saling independen. Oleh sebab itu dalam mikrozonasi perlu variabel yang menghubungkan keduanya yaitu indeks kerentanan tanah. Namun dalam penggunaannya nilai puncak HVSr untuk mengkarakterisasi tanah masih menjadi perdebatan diantara para ahli (Nguyen, et al., 2009). Sehingga pada penelitian ini penggunaan nilai puncak HVSr tidak menjadi acuan utama dalam mengkarakterisasi tanah. Hal ini disebabkan karena nilai puncak HVSr mikrotremor berbeda dengan puncak HVSr seismogram dan nilai puncak HVSr mikrotremor dipengaruhi oleh sumber getaran (SESAME, 2004).



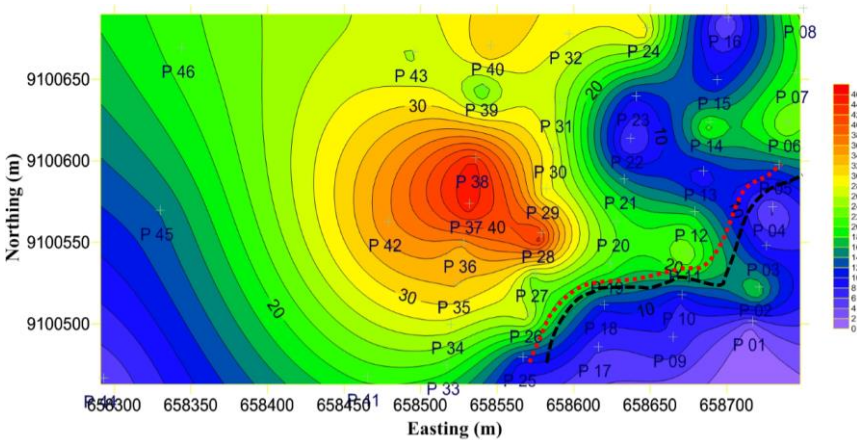
Gambar 4. 8 Grafik Nilai Amplifikasi Vs Frekuensi Dominan

4.2.3 Analisis Indeks Kerentanan Tanah (*Furneability Index*)

Analisis kerentanan tanah dilakukan untuk menghubungkan antara nilai frekuensi dan amplifikasi. Sehingga dapat dilakukan mikrozonasi dengan menggunakan metode HVSr mikrotremor. Hal tersebut dilakukan karena antara nilai amplifikasi dan mikrotremor bersifat independen. Parameter indeks kerentanan tanah diperkenalkan oleh (Nakamura Y. , 1989) yaitu pada persamaan 4.1, dengan A_m dan f adalah amplifikasi dan frekuensi HVSr. Parameter indeks kerentanan tanah (K_g) dapat mengidentifikasi likuifaksi akibat gempa bumi (Nakamura Y. , 1989). Sedangkan menurut (Warnana,

Soemitro, & Utama, 2011) parameter indeks kerentanan tanah (K_g) dapat mencerminkan efek lokal dan dapat digunakan sebagai indikator dalam menentukan titik lemah terutama di daerah lereng.

$$K_g = \frac{A_m^2}{f} \quad 4.1$$



Gambar 4. 9 Peta Sebaran Indeks Kerentanan Tanah

Pada gambar 4.9 merupakan peta persebaran indeks kerentanan tanah pada daerah penelitian. Nilai indeks kerentanan tanah pada daerah penelitian yaitu berada pada rentang 1.5 – 44.7. Apabila dikorelasikan dengan indeks kerentanan di daerah Graben Bantul. Daerah yang mengalami kerusakan parah akibat gempa bumi Bantul 2006 yaitu terjadi pada daerah yang memiliki nilai indeks kerentanan tanah diatas 10 (Sunardi, Daryono, Arifin, & Susilanto, 2012). Daerah penelitian mayoritas memiliki nilai indeks kerentanan tanah diatas 10 yang tersebar diseluruh area titik pengukuran mikrotremor. Hanya beberapa titik pengukuran saja yang memiliki nilai indeks kerentanan tanah di bawah 10, terutama pada daerah yang sudah tergerus oleh hujan hingga ketebalan lebih dari 20 meter. Hal ini menunjukkan bahwa pada titik ini lebih dekat dengan lapisan *bedrock* dan menjadi titik yang paling aman dari bahaya seismisitas apabila didirikan suatu bangunan.

Apabila ditinjau dari sebaran nilai indeks kerentanan tersebut daerah penelitian menunjukkan sangat rentan terhadap efek lokal yang diakibatkan oleh gempa bumi. Hal ini disebabkan karena secara umum sebaran nilai indeks kerentanan tanahnya sangat tinggi. Terutama pada daerah yang memiliki lereng yang miring seperti pada titik pengukuran P-25, P-26, P-19, dan P-11

berdasarkan nilai kerentanan dan kelerengannya diprediksi akan terjadi longsor susulan jika tidak dilakukan mitigasi. Berdasarkan analisa tersebut juga ditemukan titik potensi longsor baru yang mungkin akan terjadi. Yaitu terletak pada titik pengukuran P-06, P-07 dan P-08. Karena berdasarkan observasi dilapangan pada titik pengukuran tersebut berada pada kelerengan yang curam dan berdasarkan analisis mikrotremor memiliki nilai indeks kerentanan tanah lebih dari 10. Namun, Pada P-37, P-38 dan P-40 memiliki kerusakan paling parah jika didirikan bangunan akibat gempa bumi. Hal tersebut sesuai berdasarkan analisis frekuensi dan amplifikasi HVSR diatas.

Analisis HVSR mikrotremor merupakan kesimpulan awal pada penelitian ini dalam menentukan daerah yang rawan. Untuk menarik kesimpulan yang lebih jauh perlu informasi tambahan lain. Seperti informasi dari deliniasi bawah permukaan dan karakteristik *bedrock*-nya. Salah satu cara untuk mendapatkan informasi tersut adalah dengan diketahuinya nilai kecepatan geser (V_s) bawah permukaan. Oleh karena itu menarik kesimpulan yang lebih jauh pada penelitian dilkaukan inversi mikrotremor untuk mendapatkan nilai kecepatan geser setiap perlapisan dibawah permukaan diarea penelitian.

4.3 Inversi Mikrotremor

4.3.1 Perhitungan Parameter Model

Sebelum dilakukan inversi, perhitungan parameter model ditentukan dari data geologi (*borehole*). Parameter model ini digunakan sebagai inisialisasi awal pada proses inversi. Parameter model yang dijadikan inputan yaitu kecepatan gelombang P (V_p), kecepatan gelombang S (V_s), densitas (ρ), ketebalan lapisan (h), redaman gelombang P (Q_p) dan redaman gelombang S (Q_s).

Dalam menentukan parameter model tersebut, dilakukan dengan menggunakan dua pendekatan. Pertama dengan menggunakan pendekatan Gardner dan Gregory seperti pada persamaan (2.3), yaitu dilakukan perhitungan V_p yang didapatkan dari data densitas hasil *borehole*. Sedangkan untuk parameter redaman gelombang P (Q_p) dan redaman gelombang S (Q_s) dibuat konstan, karena nilai Q_p tidak berpengaruh dalam proses inversi sedangkan Q_s pengaruhnya sangat kecil. Tabel 4.2 menunjukkan parameter model hasil pendekatan persamaan Gardner dan Gregory (1974).

Tabel 4. 2 Parameter model hasil pendekatan Gardner dan Gregory (1974)

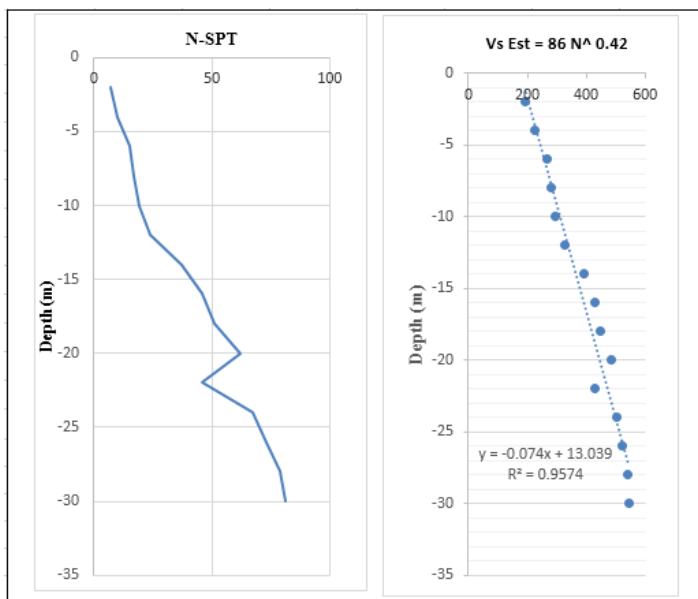
| V_p | V_s | density | H | Q_p | Q_s |
|-------|-------|---------|----|-------|-------|
| 2246 | 1297 | 2.1 | 10 | 10 | 5 |

| | | | | | |
|------|------|-----|-----|-----|-----|
| 3188 | 1841 | 2.3 | 10 | 20 | 10 |
| 3498 | 2019 | 2.4 | 6 | 30 | 15 |
| 4000 | 2500 | 2.5 | 999 | 999 | 999 |

Pendekatan parameter model yang kedua yaitu dilakukan prediksi kecepatan gelombang geser (V_s) menggunakan nilai N-SPT. Banyak peneliti yang telah mengembangkan korelasi antara nilai N-SPT dan kecepatan gelombang geser (V_s) untuk berbagai jenis tanah. Berdasarkan data *borehole* litologi pada daerah penelitian berupa pasir kelanauan (*silty sand*) sampai kedalaman 30 meter. Oleh karena itu pada penelitian ini pendekatan V_s digunakan persamaan Hanumantharao & Ramana (2008) untuk *silty sand* atau *sand silt*. Tabel 4.3 menunjukkan hasil parameter model berdasarkan pendekatan nilai N-SPT sedangkan gambar 4.10 merupakan hasil N-SPT pada daerah penelitian dan estimasi kecepatan gesernya (V_s).

Tabel 4. 3 Parameter model berdasarkan pendekatan N-SPT

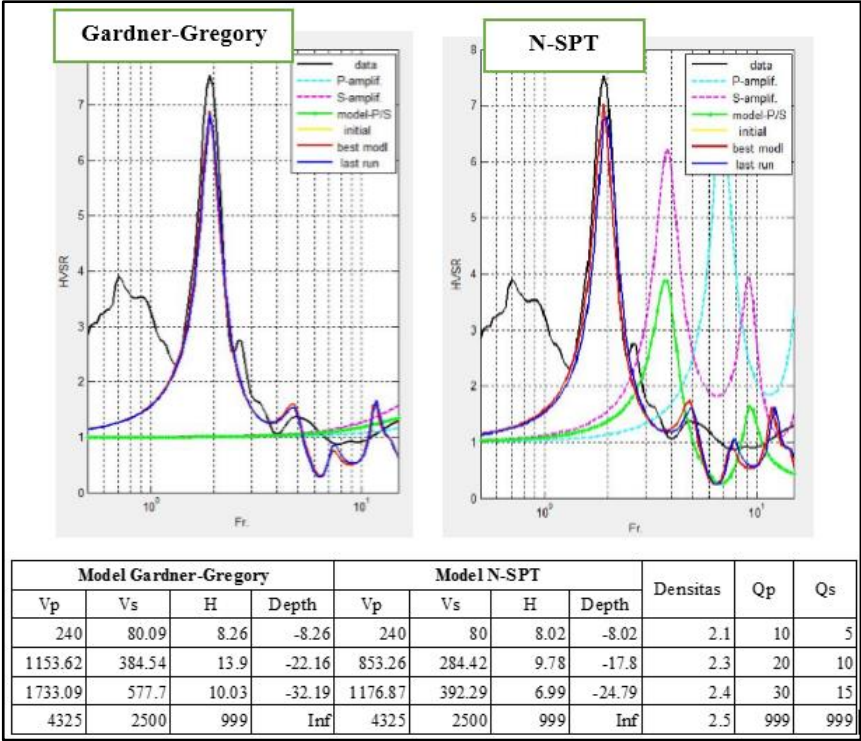
| V_p | V_s | Density | H | Q_p | Q_s |
|-------|-------|---------|-----|-------|-------|
| 439 | 254 | 2.1 | 10 | 10 | 5 |
| 722 | 417 | 2.3 | 10 | 20 | 10 |
| 839 | 485 | 2.4 | 6 | 30 | 15 |
| 4000 | 2500 | 2.5 | 999 | 999 | 999 |



Gambar 4. 10 Hasil N-SPT lapangan dan estimasi kecepatan gesernya

Dalam menentukan parameter model yang akan digunakan dalam proses inversi pada penelitian ini, maka dilakukan pengujian antara model hasil pendekatan Gardner-Gregory dan N-SPT. Model uji inversi ini dilakukan pada titik pengukuran P 29, hal ini dikarenakan pada titik tersebut lokasinya paling dekat dengan lokasi *borehole*. Hasil uji model ini diambil *best model* yang hasilnya sama atau berimpit dengan data (kurva HVSR). Untuk menghasilkan parameter model yang terbaik, maka parameter inversi dan optimalisasi PS dibuat sama diantara kedua model tebakan tersebut. Gambar 4.11 menunjukkan hasil inversi dari kedua parameter model tersebut. Berdasarkan hasil tersebut, untuk parameter model dari penurunan persamaan Gardner-Gregory (1974) maupun dari pendekatan Vs dari N-SPT mendapatkan hasil inversi yang sama. Hal ini dapat dilihat dari kurva *best model* (warna merah) dan data (warna hitam) yang memiliki tren atau bentuk yang sama pada kedua parameter model tersebut. Juga jika dilihat dari informasi *subsurface*-nya keduanya memiliki hasil yang tidak jauh berbeda, namun pada model dari Gardner-Gregory lebih sensitive selama proses inversi sehingga lebih cepat dalam menemukan ruang model baru. Oleh karena itu model tersebut mampu memberikan informasi *subsurface* yang lebih dalam dari model yang didapatkan dari N-SPT. Maka

hasil model dari Gardner-Gregory (1974) dijadikan sebagai parameter inversi pada penelitian ini. Meskipun hasil pendekatan dari nilai N-SPT kurang sensitive dalam mencari ruang model, hasil estimasi kecepatan gesernya bagus dalam mengontrol hasil inversi pada penelitian ini dibandingkan dijadikan sebagai parameter model.



Gambar 4. 11 Perbandingan hasil parameter model dari penurunan persamaan Gardner-Gregory dan hasil pendekatan nilai N-SPT.

4.3.2 Inversi Kurva HVSR

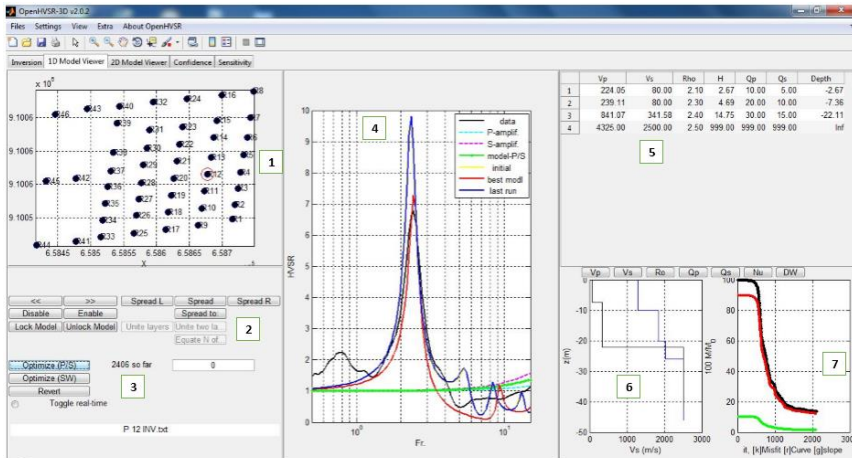
Inversi kurva HVSR pada software OpenHVSR dalam mencari ruang model dalam meminimalkan fungsi *misfit* didasarkan pada algoritma Monte Carlo seperti pada persamaan 2.6. Model tebakan terdiri dari enam parameter untuk setiap lapisan (termasuk model *half space*). Model *half space* adalah sebuah model matematis yang hanya memiliki satu nilai batas (nilai kedalaman dari bagian atas model). Model *half space* dianggap memiliki kedalaman tak

hingga dan bersifat homogen isotropik. Model ini dipilih karena estimasi kecepatan geser yang ditargetkan pada penelitian ini adalah batuan sedimen, untuk membatasi nilai kecepatan yang lebih cepat darinya.

Input parameter model (Tabel 4.2) dijadikan sebagai model awal dalam proses inversi. Sedangkan pada kurva HVSR hasil pengukuran mikrotremor yang menjadi inputan adalah rata-rata *peak amplitude* dan nilai frekuensinya yang dijadikan dalam satu folder. Kurva HVSR tersebut sebagai data yang menjadi acuan parameter model selama proses inversi. Selama proses inversi untuk parameter model V_p , V_s , dan ketebalan dibiarkan bebas (*check list*) untuk mendapatkan *best model* (mengurangi fungsi *error*), namun diikat dengan data densitas sebagai pengontrol selama proses inversi. Sedangkan untuk nilai Q_p dan Q_s dianggap konstan untuk setiap lapisan (*uncheck list*). Hal ini sesuai dengan penelitian Sungkono (2011), bahwa variasi faktor Quasi P (Q_p) tidak berpengaruh terhadap kurva HVSR. Sedangkan faktor Quasi S (Q_s) pengaruhnya terhadap puncak HVSR dan tidak berpengaruh terhadap nilai frekuensi. Dari keenam parameter tersebut yang memiliki pengaruh besar terhadap kurva HVSR adalah kecepatan gelombang geser (V_s) dan ketebalan lapisan sedimen.

Setelah proses inversi (seperti yang telah di jelaskan dalam BAB III), hasilnya dapat dilihat pada tab 2 yaitu pada “*ID model viewer*” (Gambar 4.12). Pada gambar tersebut menunjukkan ada tujuh bagian yaitu : (1) merupakan semua titik pengukuran mikrotremor, sedangkan lokasi pengukuran yang ditampilkan ditandai dengan lingkaran merah. Berdasarkan gambar tersebut menunjukkan bahwa data yang ditampilkan yaitu titik pengukuran P-12. Untuk melihat hasil inversi titik yang lain dapat dilakukan dengan menggeser tombol panah kekiri/kekanan (2). Tombol optimize P/S (3) dilakukan apabila grafik warna merah yang merupakan *best model* masih belum berimpit dengan grafik warna hitam (4). Sedangkan garis biru menunjukkan hasil running terakhir selama proses inversi. Biasanya garis merah berimpit dengan garis biru, seperti yang terjadi pada proses inversi pada titik P 12 penelitian ini. Apabila selama proses inversi fungsi *misfit* sudah kecil (di bawah 10%), maka otomatis grafik hitam (data) dan grafik merah (*best model*) akan berimpit atau mendekati data. Data (grafik hitam) disini merupakan kurva HVSR hasil pengolahan mikrotremor yang terdiri dari puncak HVSR dan nilai rata-rata frekuensi yang telah dilakukan koreksi berdasarkan SESAME. Fungsi *misfit* selama inversi juga berengaruh terhadap fungsi *misfit* pada tahap optimalisasi pada kolom bagian (7). Jika misfit selama inversi kecil (dibawah 10%), maka optimalisasi P/S (3) tidak berpengaruh terhadap grafik *best model*, meskipun berpengaruh

perubahannya sangat kecil. Sehingga menyebabkan *misfit* pada tahap optimalisasi nilainya besar.



Gambar 4. 12 Optimalisai Hasil Inversi

Pada titik pengukuran P 12 (Gambar 4.12) model tebakan setelah dilakukan inversi masih belum berimpit dengan data (grafik warna hitam), hal ini dapat dilihat pada fungsi *misfit* selama proses inversi selain itu juga dapat dilihat pada grafik warna hijau yang merupakan model P/S sebelum dilakukan inversi. Oleh karena itu perlu dilakukan optimalisasi P/S. Pada penelitian ini tahap optimalisasi P/S berjalan dengan baik hal ini dapat dilihat dari hasilnya, yang sebelumnya *best model* berimpit dengan model P/S setelah dilakukan optimalisasi berimpit dengan data (grafik hitam). Selain itu fungsi *misfit*-nya memiliki tren yang menurun.

Dalam analisis ini dilihat dari hasil *fitting* antara *best model* (kurva warna merah) dan data (kurva warna hitam). Apabila puncak dari kedua kurva tersebut berimpit maka kualitas data baik. Namun, apabila masih jauh perlu dilakukan inversi ulang dengan mengubah nilai pembobotan *logarithmic* dan variasi nilai k pada persamaan 3.4. Ketidakcocokan antara antara observasi (model) dan data estimasi (inversi) disebabkan oleh beberapa hal di antaranya : kurva HVR yang dijadikan data estimasi dalam inversi tidak *reliable*, kurva HVR tidak sepenuhnya merupakan gelombang badan masih ada sumbuangsih gelombang permukaan meskipun kecil, getaran yang direkam pada saat akuisi data masih ada pengaruh dari luar dan kesalahan dalam informasi model *subsurface (human error)* sebagai parameter model awal pada proses inversi. Hal ini sesuai dengan pernyataan Dalmoro (2010) dan Mucciarelli dan Gallipoli

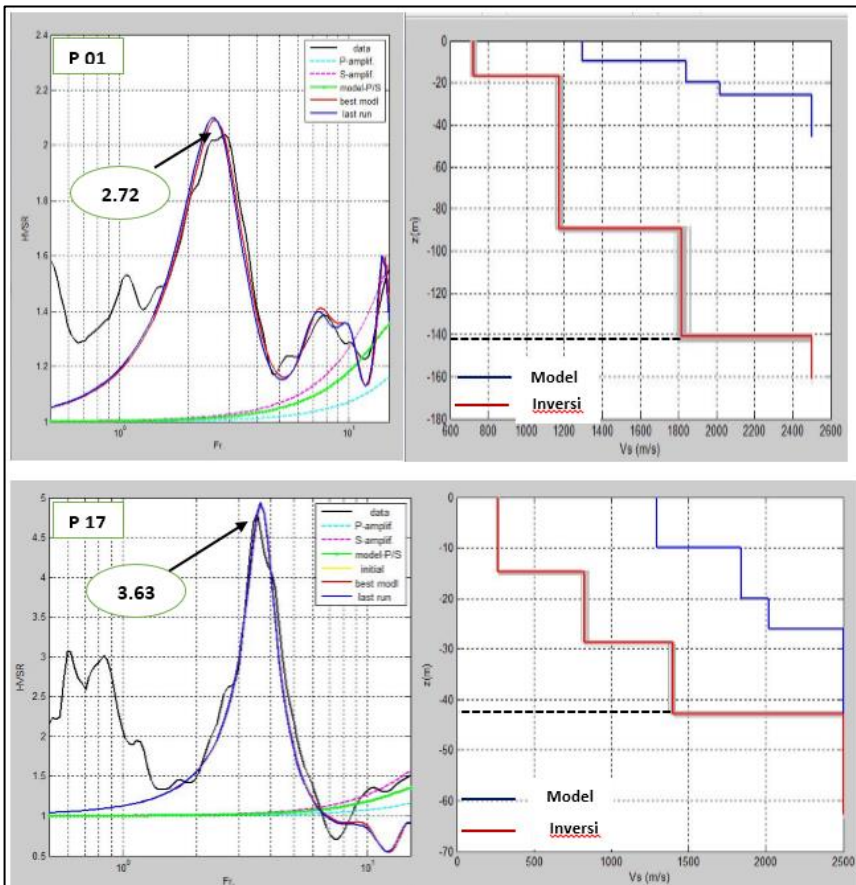
(2014) dalam Sutrisno (2014) yang menyatakan bahwa ketidak sesuaian data observasi disebabkan oleh pengaruh gelombang permukaan dan pengaruh angin dalam pengukuran mikrotremor HVSR.

Sedangkan hasil dari inversi berupa informasi *subsurface* yang disajikan pada kolom 5 dan 6 pada gambar 4.12. Pada kolom 6 grafik warna hitam merupakan hasil inversi sedangkan warna biru merupakan parameter model.

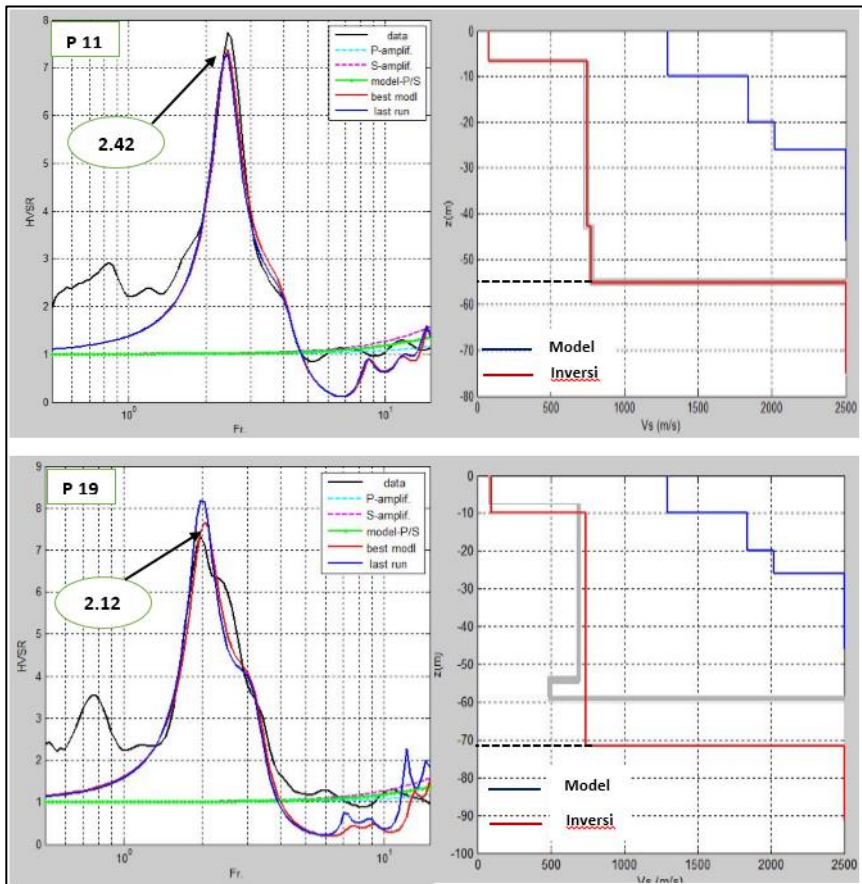
4.4 Estimasi Struktur Bawah Permukaan

4.4.1 Persebaran Kecepatan Gelombang (Vs)

Estimasi persebaran kecepatan gelombang geser dari 46 kurva HVSR (*reliable*) telah dilakukan dengan *software* OpenHVSR pada penelitian ini. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa hasil kurva HVSR dari pengukuran mikrotremor dipengaruhi oleh kondisi geologi setempat. Sedangkan kondisi geologi pada daerah penelitian beragam, terutama dilihat dari kenampakan permukaan yang memiliki perbedaan elevasi yang signifikan. Dari tren hubungan antara respon frekuensi natural dan elevasi menunjukkan hubungan yang saling berbanding terbalik (Gambar 4.6). Sedangkan frekuensi natural berpengaruh terhadap nilai kecepatan gelombang geser (Vs). Untuk membuktikan pengaruh tersebut, diambil dua sampel/ lokasi pengukuran yang secara geologi memiliki perbedaan. Kemudian diantara kedua lokasi tersebut dapat dilihat dari respon nilai kecepatan gesernya. Lokasi pertama yaitu pada titik pengukuran dengan elevasi rendah. Dimana pada titik pengukuran tersebut areanya telah tersedimentasi (tergerus oleh hujan) sehingga menyebabkan perbedaan ketinggian dari daerah sekitarnya. Yaitu terletak pada titik pengukuran P 01, P 02, P 03, P 09, P 10, P 17 dan P 18. Sedangkan lokasi pengukuran yang kedua yaitu pada daerah lereng longsor yang tersebar pada titik pengukuran P-19, P-11, P-06 dan P-07. Pada lokasi pengukuran ini jika dilihat dari kenampakan permukaan menunjukkan zona yang lemah karena ditandai dengan ditemukannya retakan/rekahan yang dapat memicu terjadinya longsor susulan jika tidak dilakukan mitigasi sejak dini.



Gambar 4. 13 Profil Kecepatan Gelombang Geser Hasil Inversi Kurva HVSR Pada Titik Pengukuran Elevasi Rendah di Daerah Penelitian.

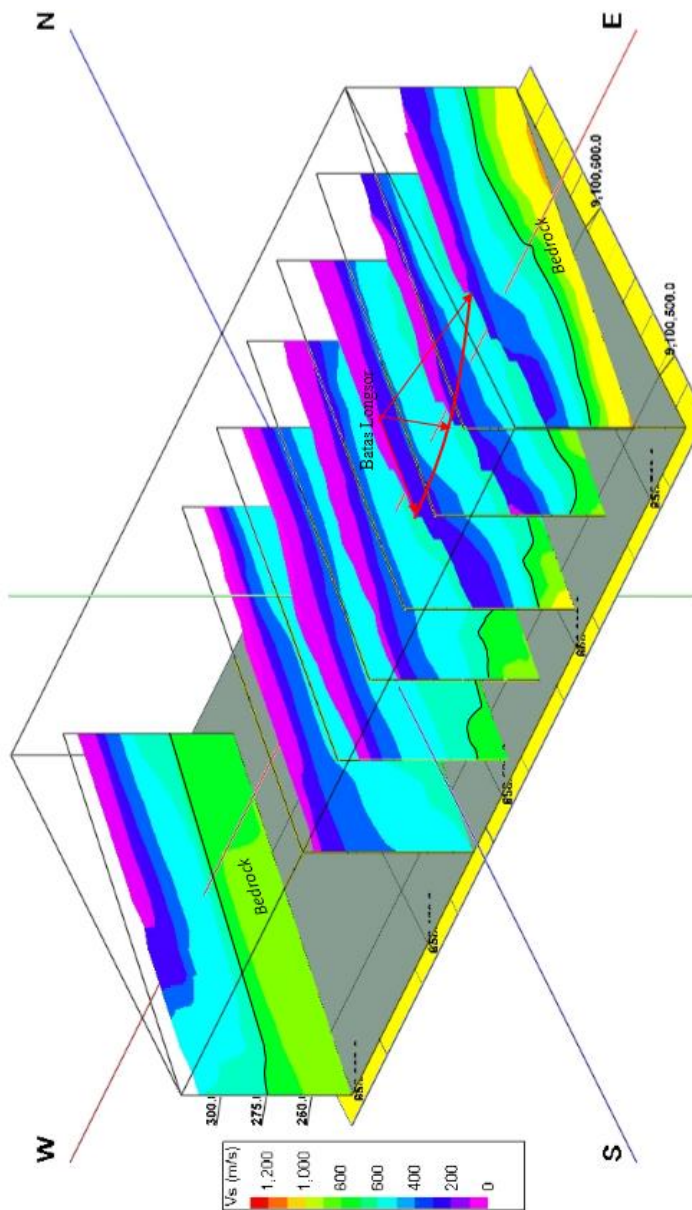


Gambar 4. 14 Profil Kecepatan Gelombang Geser Hasil Inversi Kurva HVSr Pada Titik Pengukuran Lereng Longsor di Daerah Penelitian.

Pada gambar 4.13 menunjukkan profil 1D kecepatan gelombang geser hasil inversi dari kurva HVSr pada titik pengukuran elevasi rendah. Pada lokasi pengukuran ini dipilih titik P 01 dan P 17 untuk melihat respon nilai kecepatan gesernya. Pada gambar tersebut menunjukkan adanya hubungan yang bagus antara respon kurva HVSr dan kecepatan gesernya, yang dapat membuktikan hubungan diantara keduanya. Pada gambar tersebut grafik sebelah kiri menunjukkan kurva HVSr yang diinversikan dengan parameter model untuk mendapatkan informasi/struktur bawah permukaannya. Sedangkan sebelah kanan merupakan informasi *subsurface* dengan garis berwarna biru merupakan model tebakan awal dan garis warna merah merupakan hasil dari

proses inversinya. Pada gambar tersebut menunjukkan bahwa kondisi geologi area penelitian mempengaruhi terhadap nilai kecepatan gesernya. Sebagaimana yang terjadi pada kedua kasus tersebut, daerah yang sudah tergerus mengidentifikasi lebih dekat dengan lapisan keras atau kedalaman *bedrock* lebih dangkal (Gambar 4.13) dibandingkan dengan daerah lereng longsor (Gambar 4.14) yang relatif lebih dalam kedalaman lapisan kerasnya. Hal ini sesuai dengan hasil frekuensi naturalnya yang mencerminkan respon yang sama dengan nilai kecepatan gesernya. Sehingga dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa adanya hubungan antara nilai frekuensi natural, kedalaman lapisan (geologi setempat) dan kecepatan geser yang saling mempengaruhi satu sama lain.

Jika dilihat respon kecepatan geser pada kedalaman sampai 10 meter pada kedua *site* tersebut, pada daerah lereng longsor memiliki kecepatan yang lebih rendah yaitu sampai 98.71 m/s bila dibandingkan dengan area yang berelevasi rendah yaitu 267.36 m/s. Kontras perbedaan antara lapisan lunak dan lapisan keras (Gambar 4.14) lebih terlihat pada daerah lereng longsor dibandingkan dengan daerah yang sudah terjadi longsor (Gambar 4.13). Tebalnya lapisan lunak ini juga dicirikan dengan nilai puncak HVSR-nya relatif tinggi. Bila kita melihat nilai puncak HVSR pada titik pengukuran P 01 dan dibandingkan dengan nilai puncak HVSR pada titik pengukuran daerah lereng longsor (P 11 dan P 19) yang mayoritas nilainya lebih besar. Dimana pada titik P 01 pada kedalaman 16.7 meter sudah dapat mengidentifikasi lapisan keras (*bedrock*) bila dibandingkan dengan daerah lereng longsor (P 11 dan P 19) kedalaman lapisan keras teridentifikasi di kedalaman 36- 61 meter. Hal ini yang menyebabkan pada daerah lereng longsor memiliki kontras perbedaan nilai kecepatan geser yang tinggi antara lapisan lunak dan lapisan keras. Sehingga hasil ini membuktikan bahwa puncak HVSR memiliki pengaruh terhadap nilai ketebalan lapisan. Hasil penelitian ini sesuai dengan pernyataan Sungkono (2011) yang menyatakan ketebalan lapisan berpengaruh pada frekuensi natural dan nilai puncak HVSR. Sedangkan daerah yang diperkirakan *bedrock* dapat teridentifikasi pada penelitian ini dengan nilai kecepatan geser 750-1200 m/s.

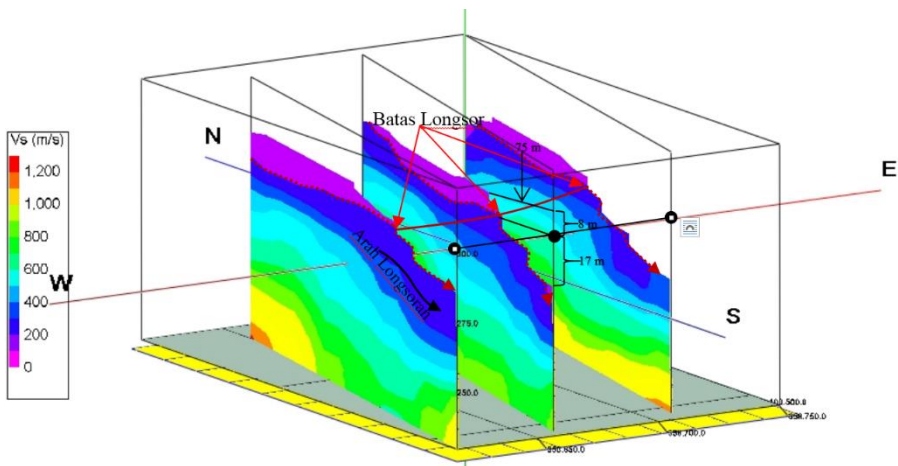


Gambar 4. 15 Profil Sebaran Kecepatan Gelombang Geser di daerah Penelitian

Seluruh kurva HVSR hasil pengolahan mikrotremor yang telah diinversikan dengan data geologi kemudian dilakukan *profiling* persebaran kecepatan gelombang geser (V_s) seperti yang disajikan dalam gambar 4.15. Dilakukannya *profiling* ini adalah untuk memudahkan dalam proses interpretasi. Profil sayatan ini mengarah sesuai desain akuisisi yaitu dari selatan ke utara sebanyak 7 sayatan.

Berdasarkan profil tersebut didapatkan nilai kecepatan geser 750-1200 m/s mayoritas pada kedalaman 50-60 meter yang tersebar pada daerah penelitian di setiap sayatan. Kecuali pada sayatan 7 (paling ujung barat) kedalaman *bedrock* (750-1200 m/s) di dapatkan pada kedalaman 37-40 meter. Menurut Suntoko & Sriyana (2016) klasifikasi tanah permukaan berdasarkan pada SNI 1726-2012 yang sesuai dengan rentang nilai kecepatan geser yang dihasilkan pada penelitian ini, tergolong pada klasifikasi B, C, D dan E. Dengan klasifikasi B sudah termasuk batuan ($750 \text{ m/s} < V_s \leq 1500 \text{ m/s}$), C merupakan tanah sangat padat dan batuan lunak ($350 \text{ m/s} < V_s \leq 750 \text{ m/s}$), klasifikasi D merupakan tanah sedang ($175 \text{ m/s} < V_s \leq 350 \text{ m/s}$), dan klasifikasi E tanah lunak dengan nilai kecepatan geser kurang dari 175 m/s. Berdasarkan klasifikasi SNI tersebut tanah lunak tersebar pada seluruh area penelitian dengan kedalaman 8-15 meter yang ditandai dengan warna ungu. Tanah lunak dengan ketebalan 8-15 meter ini menjadi pemicu terjadinya longsoran apabila terletak pada lereng yang curam dan dibidangi oleh tanah yang lebih padat.

Tiga sayatan dari timur pada gambar 4.15 merupakan daerah yang telah terjadi longsor lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.16, dengan arah longsoran keselatan. Sehingga pada ujung selatan dari sayatan tersebut lapisan lunaknya lebih sedikit/bahkan tidak kelihatan lapisan lunak bila dibandingkan dengan sayatan lainnya. Hal ini dikarenakan lapisan lunak tersebut sudah hilang tererosi oleh hujan. Sedangkan garis putus-putus berwarna merah di duga sebagai bidang gelincir dari longsor tersebut dengan nilai kecepatan geser 200-300 m/s yang diklasifikasikan sebagai tanah tipe D berdasarkan SNI 1726-2012. Berdasarkan penampang tersebut longsor susulan kemungkinan akan terjadi lagi bila terjadi hujan secara terus menerus. Hal tersebut dikarenakan masih tebalnya tanah lunak yang terletak pada bidang miring. Berdasarkan gambar 4.16 lapisan lunak yang berada pada lereng longsor/batas longsoran memiliki ketebalan 8 meter. Jadi tanah yang hilang tergerus hujan memiliki ketebalan sekitar 25 meter. Hal ini sesuai pada saat observasi dilapangan, bahwa tanah yang hilang diperkirakan sekitar lebih dari 20 meter. Hasil ini juga membuktikan bahwa metode mikrotremor mampu untuk mengkarakterisasi longsoran dalam mendeliniasi batas-batas bidang longsoran tersebut.



Gambar 4. 16 Sayatan gelombang geser pada daerah longsor

Gambar 4.16 memperlihatkan bahwa batas-batas deliniasi tiap lapisan pada daerah yang longsor miring kearah selatan, hal ini juga sesuai dengan arah longsor yang terjadi pada daerah tersebut.

4.4.2 Estimasi Vs30

Dari sebaran kecepatan gelombang geser tersebut kemudian dilakukan perhitungan kecepatan gelombang geser diatas kedalaman 30 meter (V_{s30}) kemudian diklasifikasikan jenis tanahnya sesuai *Eurocode 8* (Tabel 2.3) dan SNI 1726-2012. Hasil perhitungan V_{s30} dan klasifikasinya dapat dilihat dalam tabel 4.4. Berdasarkan hasil tersebut menunjukkan bahwa klasifikasi tanah daerah penelitian sampai pada kedalaman 30 meter mayoritas tergolong tanah tipe C sesuai *Eurocode 8* yang merupakan endapan pasir padat atau setengah padat. Sedangkan berdasarkan klasifikasi SNI 1726-2012 tanah di daerah penelitian sampai kedalaman 30 meter merupakan tanah tipe sedang yaitu ditandai dengan mayoritas masuk dalam klasifikasi D. Hal ini sesuai dengan peta geologi regional daerah penelitian bahwa litologi batuan penyusunnya berupa lava, breksi gunung api, tuf breksi dan tuf pasir. Sedangkan berdasarkan data *borehole* litologi batuan sampai kedalaman 30 meter merupakan pasir lanauan.

Tabel 4. 4 Vs30 dan klasifikasi tanah sesuai SNI 1726-2012 dan Eurocode 8

| KODE | Vs30 (m/s) | Klasifikasi SNI 1726- 2012 | Eurocode 8 | KODE | Vs30 (m/s) | Klasifikasi SNI 1726- 2012 | Eurocode 8 |
|------|------------|----------------------------------|------------|------|------------|----------------------------------|------------|
| P-01 | 351.5722 | C | C | P-24 | 257.9928 | D | C |
| P-02 | 256.7177 | D | C | P-25 | 276.9149 | D | C |
| P-03 | 344.0322 | D | C | P-26 | 229.8559 | D | C |
| P-04 | 1011.017 | B | A | P-27 | 345.0854 | D | C |
| P-05 | 266.5425 | D | C | P-28 | 218.1818 | D | C |
| P-06 | 259.7935 | D | C | P-29 | 220.8951 | D | C |
| P-07 | 317.8777 | D | C | P-30 | 238.3431 | D | C |
| P-08 | 273.3613 | D | C | P-31 | 258.0537 | D | C |
| P-09 | 326.5711 | D | C | P-32 | 252.0286 | D | C |
| P-10 | 326.3382 | D | C | P-33 | 1135.433 | B | A |
| P-11 | 359.8201 | C | C | P-34 | 250 | D | C |
| P-12 | 221.9236 | D | C | P-35 | 206.8966 | D | C |
| P-13 | 216.0968 | D | C | P-36 | 200.3384 | D | C |
| P-14 | 197.2498 | D | C | P-37 | 236.1972 | D | C |
| P-15 | 308.9146 | D | C | P-38 | 252.3909 | D | C |
| P-16 | 1801.358 | A | A | P-39 | 250.9043 | D | C |
| P-17 | 415.3265 | C | B | P-40 | 284.3699 | D | C |
| P-18 | 354.0939 | C | C | P-41 | 514.6737 | C | B |
| P-19 | 300.6419 | D | C | P-42 | 262.0087 | D | C |
| P-20 | 249.8148 | D | C | P-43 | 242.571 | D | C |
| P-21 | 203.4382 | D | C | P-44 | 541.1541 | C | B |
| P-22 | 250.6563 | D | C | P-45 | 275.9155 | D | C |
| P-23 | 353.1553 | C | C | P-46 | 205.4748 | D | C |

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Berdasarkan hasil penelitian didapatkan nilai frekuensi natural 1.7-3.7 Hz, Puncak HVSR 2-9 dan Indeks Kerentanan 1.5-44.7.
2. Berdasarkan hasil inversi kuva HVSR tebal lapisan lunak di daerah penelitian sekitar 8-15 m dengan nilai kecepatan geser antara 80-175 m/s.
3. Daerah yang diduga sebagai bidang gelincir memiliki nilai kecepatan geser 200-300 m/s yang di klasifikasikan sebagai tanah tipe D berdasarkan SNI 1726-2012.
4. Nilai kecepatan geser *bedrock* pada penelitian ini yaitu 750-1200 m/s yang tersebar pada kedalaman 50-60 meter.
5. Klasifikasi tanah sampai kedalaman 30 meter mayoritas yang tersebar di daerah penelitian termasuk tipe C sesuai *Eurocode 8* dan tipe D sesuai SNI 1726-2012.
6. Daerah yang memiliki tingkat kerawanan terhadap bencana paling tinggi berada pada arah barat daya longsor (pengukuran P 37 dan P 38).

5.2 Saran

Perlu dilakukan korelasi dengan metode geofisika lainnya untuk mendapatkan profil bawah permukaan tanah yang lebih baik. Serta dengan diketahuinya profil tanah di daerah penelitian sebaiknya pendirian bangunan pada daerah penelitian disarankan mengikuti prosedur dari *international building code* untuk mengurangi resiko kerusakan akibat gempa bumi.

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

DAFTAR PUSTAKA

- Afnimar. (2009). Seismologi. Bandung: ITB.
- Amalia, F., Rustan, E., & Sandra. (2015). Estimation of the elasticity characteristics of the subsurface rocks using shear wave. *Gravitasi* Vol. 14, 1.
- Arai, H., & Tokimatsu, K. (2004). S-Wave Velocity Profiling by Inversion of Microtremor H/V Spectrum. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 94(1), 53-63.
- Arai, H., & Tokimatsu, K. (2005). S-Wave Velocity Profiling by Joint Inversion of Microtremor Dispersion Curve and Horizontal-to-Vertical (H/V) Spectrum. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 95(5), 1766–1778.
- Arifin, S. S., Mulyatno, B. S., Marjiyono, & Setianegara, R. (2013). penentuan zona rawan guncangan bencana gempa bumi berdasarkan analisis nilai amplifikasi HVSR mikrotremor dan analisis periode dominan daerah Liwa dan sekitarnya. *Jurnal Geofisika Eksplorasi* Vol 2, No.1.
- Bignardi, S. (2016). OpenHVSr User Manual (Ver. 2.0).
- Bignardi, S., Mantovani, A., & Abu Zeid, N. (2016). OpenHVSr: imaging the subsurface 2D/3D elastic properties through multiple HVSR modelling and inversion. *Computer & Geosciences - ISSN:0098-3004* vol. 93.
- cristanty, i. n. (2011). slopes stability analysis based on microzonation in Bumiaji district, Batu Malang. Surabaya: Final Project Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Duceller, A., Kawase, H., & Matsushima, S. (2013). Validation of a New Velocity Structure Inversion Method Based on Horizontal-to-Vertical (H/V) Spectral Ratios of Earthquake Motions in the Tohoku Area, Japan . *Bulletin of the Seismological Society of America*, 103(2A), 958-970.
- Fah, D., Kind, F., & Giardini, D. (2003). Inversion of local S-wave velocity structures from average H/V ratios, and their use for the estimation of site-effects. *Journal of Seismology* , 7, 449–467.
- Gardner, G., Gardner, L., & Gregory, A. (1974). Formation velocity and density - the diagnostic basic for stratigraphic traps. *Geophysics* 39, 770-780.
- Herak, M. (2008). ModelHVSR—A Matlab s tool to model horizontal-to-vertical spectral ratio of ambient noise. *Computers Geosciences*, 1514–1526.
- Ibrahim, G., & Subardjo. (2005). Pengetahuan Seismologi. jakarta: Badan Meteorologi dan Geofisika.
- Mufida, A., Santosa, B. J., & Warnana, D. D. (2013). Inversi Mikrotremor Spektrum H/V untuk Profilling Kecepatan Gelombang Geser (V_s) Lapisan Bawah Permukaan dan Mikrozonasi Wilayah Surabaya. *Teknik POMITS*, 1-8.

- Mulyatno, B. S., Marjiyono, & Setianegara, R. (2013). Penentuan Zona Rawan Guncangan Bencana Gempa Bumi Berdasarkan Analisis Amplifikasi HVSR Mikrotremor dan Analisis Periode Dominan Daerah Liwa dan Sekitarnya. *Geofisika Eksplorasi*, 1.
- Nakamura, Y. (1989). A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. *Q. Rep. Railway Tech. Res. Inst.*, 30(1), 25-33.
- Nakamura, Y. (2000). Real Time Information Systems for Seismic Hazards Mitigation. JAPAN: Quarterly Report of RTRI.
- Nakamura, Y., Gurler, Dilek, E., Saita, J., Rovelli, A., & Donati, S. (2000). Vulnerability Investigation of Roman Colosseum Using Microtremor. *12WCEE*.
- Nguyen, F., Teerlynck, H., Rompaey, G., Van Camp, M., Jongmans, D., & Camelbeck, T. (2009). Use of microtremor measurement for assessing site effects in Northern Belgium-interpretation of the observed intensity during the Ms5.0, June 11, 1938 Earthquake. *Journal of Seismology*, 41-56.
- Okada, H. (2004). The microtremor survey method. United State of America: Society of Exploration Geophysicist.
- Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi. (2016, Desember 06). (indonesia) Retrieved Januari 17, 2017, from <http://pvmbg.geologi.esdm.go.id/index.php/gerakan-tanah/kejadian-gerakan-tanah/1379-tanggapan-bencana-gerakan-tanah-kecamatan-selorejo-kabupaten-blitar-provinsi-jawa-timur>
- SESAME. (2004). Site Effects Assessment Using Ambient Excitations. European Commission – Research General Directorate Project No. EVG1-CT-2000-00026 SESAME. Report of the WP04 H/V Technique : Empirical Evaluation.
- Sjarifudin, M., & Hamidi, S. (1992). Peta geologi lembar Blitar, Jawa. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Sunardi, B., Daryono, Arifin, J., & Susilanto, P. (2012). Kajian Potensi Bahaya Gempa Bumi Daerah Sumbawa Berdasarkan Efek Tapak Lokal. *Meteorologi dan Geofisika*, 131-137.
- Sungkono, & Santosa, B. (2011). Karakterisasi Kurva Horizontal to Vertical Spectral Ratio : Kajian literatur dan Pemodelan. *Neutrino*, Vol 4. No.1.
- Suntoko, H., & Sriyana. (2016). Penentuan Kedalaman Batuan Dasar Menggunakan Microtremor Array Di Tapak RDE Serpong. *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir*, 87-92.
- Sutrisno, W. T. (2014). Profilling persebaran kecepatan gelombang geser (V_s) menggunakan inversi mikrotremor spectrum Horizontal -to-Vertical

- Spectral Ratio (HVSr). Surabaya: Skripsi Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Tokimatsu, K., & Miyadera, Y. (1992). Characteristics of Rayleigh waves in microtremors and their relation to underground structures. *J. Struct. Constr. Eng*(439), 81–87.
- Warnana, D. D., Soemitro, R. A., & Utama, W. (2011). Application of Microtremor HVSr Method for Assessing Site Effect in Residual Soil Slope. *International Journal of Basic & Applied Sciences IJBAS-IJENS*, 04.
- Xu, P., Ling, S., Ran, W., Liu, Q., & Liu, J. (2013). Estimating Cenozoic Thickness in the Beijing Plain Area Using Array Microtremor Data. *Seismological Research Letters*, 1039-1047.
- Yamanaka, H., M., T., H., I., & M., N. (1994). Characteristics of long-period microtremors and their applicability in exploration of deep sedimentary layers. *Bull. Seism. Soc. Am*, 84(6), 1831-1841.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

Koreksi Riabilitas Kurva HVSR

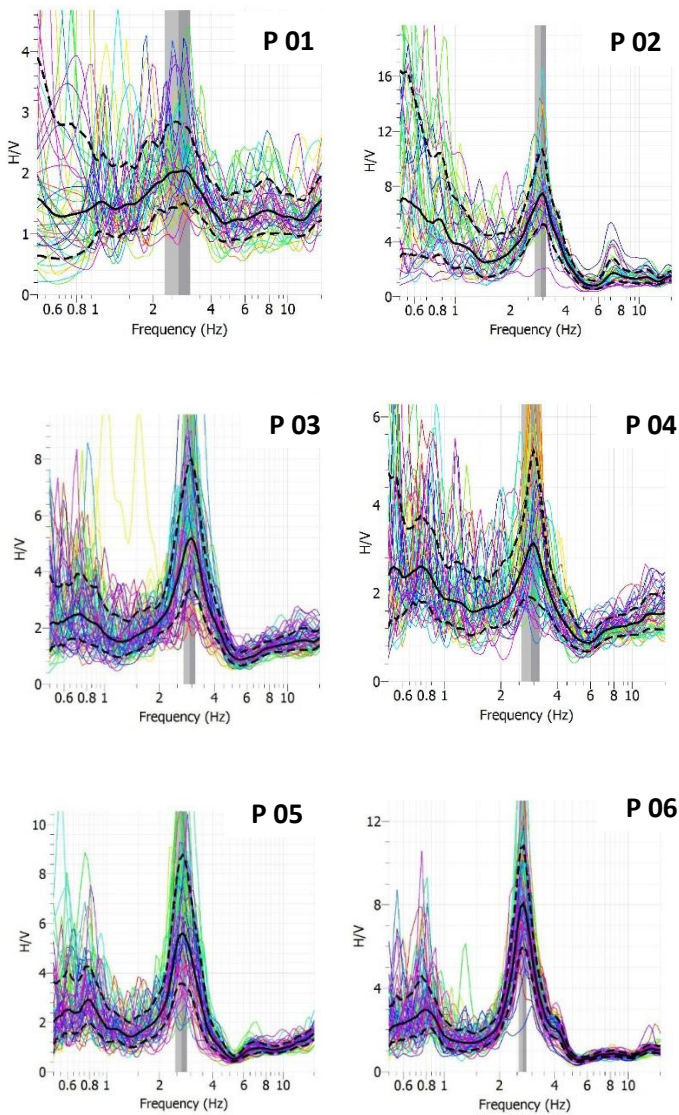
| | |
|---|--|
| <p>Criteria for a reliable H/V curve</p> <p>i) $f_0 > 10 / l_w$ <i>and</i></p> <p>ii) $n_c(f_0) > 200$ <i>and</i></p> <p>iii) $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ or $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$</p> | <ul style="list-style-type: none"> • l_w = window length • n_w = number of windows selected for the average H/V curve • $n_c = l_w \cdot n_w$, f_0 = number of significant cycles • f = current frequency • f_{sensor} = sensor cut-off frequency • f_0 = H/V peak frequency • σ_f = standard deviation of H/V peak frequency ($f_0 \pm \sigma_f$) • $\varepsilon(f_0)$ = threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ • A_0 = H/V peak amplitude at frequency f_0 • $A_{H/V}(f)$ = H/V curve amplitude at frequency f • f = frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f) < A_0/2$ • f^* = frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^*) < A_0/2$ • $\sigma_A(f)$ = "standard deviation" of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided • $\sigma_{\log H/V}(f)$ = standard deviation of the $\log A_{H/V}(f)$ curve, $\sigma_{\log H/V}(f)$ is an absolute value which should be added to or subtracted from the mean $\log A_{H/V}(f)$ curve • $\theta(f_0)$ = threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$ • $V_{s,av}$ = average S-wave velocity of the total deposits • $V_{s,surf}$ = S-wave velocity of the surface layer • h = depth to bedrock • h_{\min} = lower-bound estimate of h |
| <p>Criteria for a clear H/V peak (at least 5 out of 6 criteria fulfilled)</p> <p>i) $\exists f^* \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^*) < A_0/2$</p> <p>ii) $\exists f^+ \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$</p> <p>iii) $A_0 > 2$</p> <p>iv) $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$</p> <p>v) $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$</p> <p>vi) $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$</p> | |

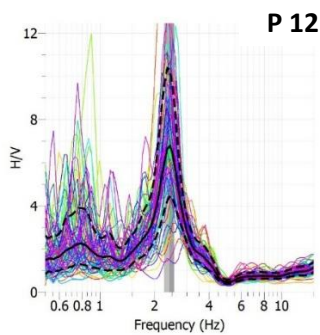
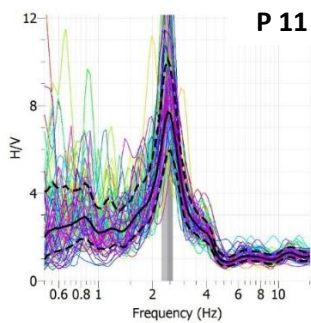
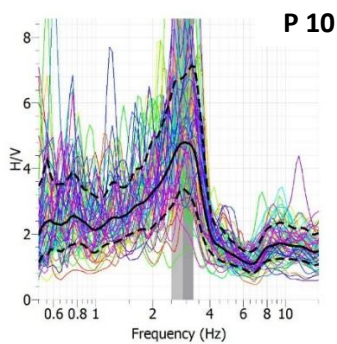
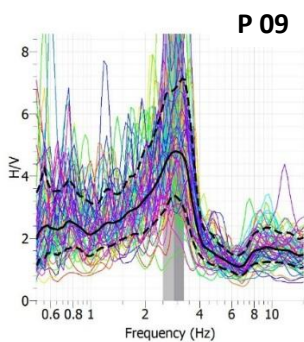
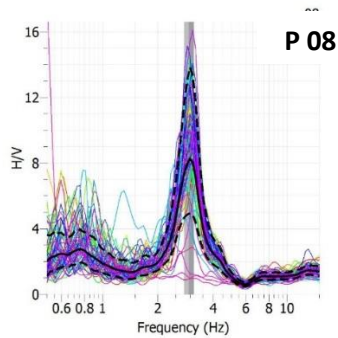
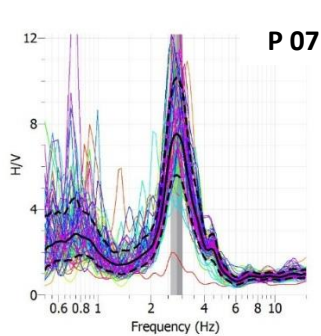
| Threshold Values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$ | | | | | |
|---|------------|------------|------------|------------|------------|
| Frequency range [Hz] | < 0.2 | 0.2 – 0.5 | 0.5 – 1.0 | 1.0 – 2.0 | > 2.0 |
| $\varepsilon(f_0)$ [Hz] | 0.25 f_0 | 0.20 f_0 | 0.15 f_0 | 0.10 f_0 | 0.05 f_0 |
| $\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$ | 3.0 | 2.5 | 2.0 | 1.78 | 1.58 |
| $\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$ | 0.48 | 0.40 | 0.30 | 0.25 | 0.20 |

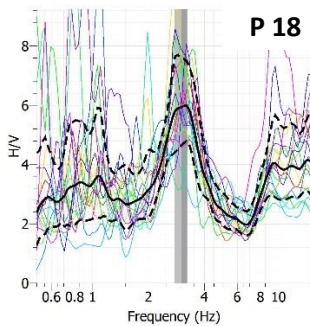
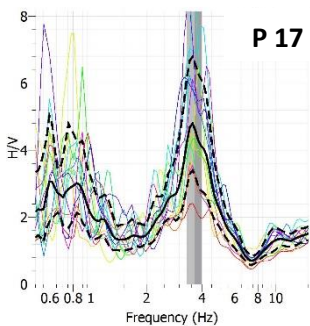
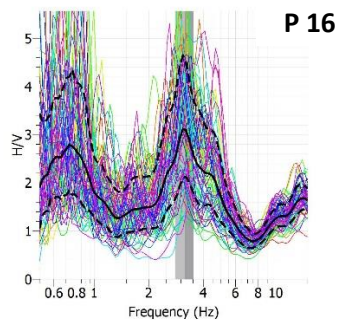
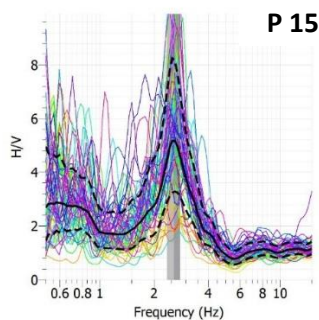
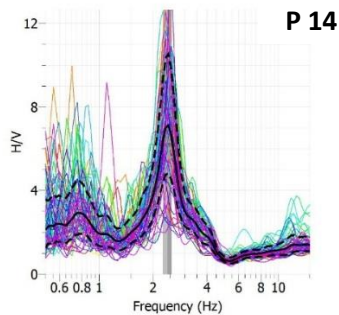
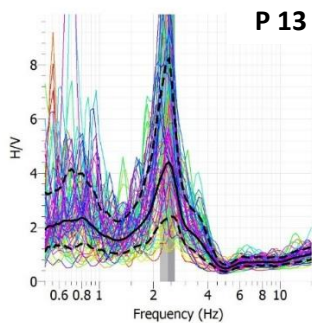
Kriteria Riabilitas Hasil Pengolahan Data yang di Sarankan SESAME European Research Project

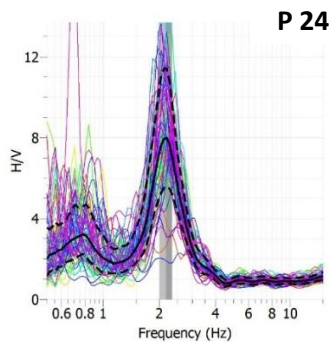
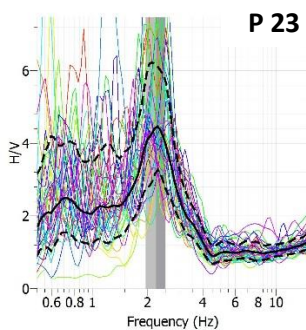
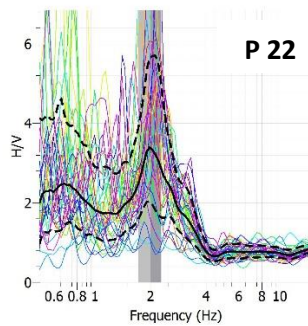
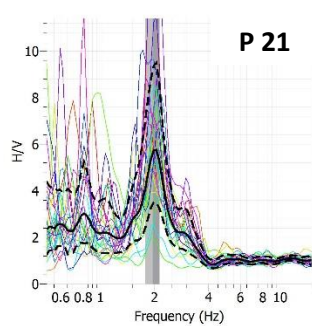
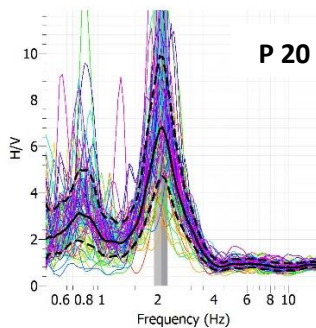
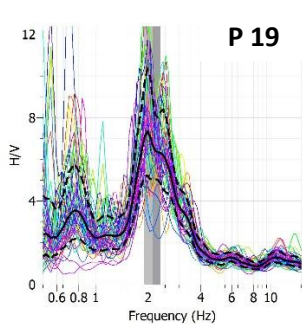
| No | Time | Nama Titik | X | Y | Z | fo | σ_f | To | H/V (Ao) | Kg | σ_A (f) | Standar deviasi - (A) | Standar deviasi + (A) | lw | nw | 10/lw | fo>10/lw | nc (fo) = nw/lw | nc (fo)>200 | Ao>2 | σ_A (f) <2, f0>0.5 | σ_A (f) < e(fo) | σ_f < e(fo) | $A_0/A_H/V(f^-)$ > 2 | $A_0/A_H/V(f^+)$ > 2 | $f_{peak}[A_H/V(f) \pm \sigma A(f)]$ = $f_0 \pm 5\%$ | $A_H/V(f^-)$ | $A_H/V(f^+)$ |
|----|-------|------------|--------|---------|-----|-------|------------|------|----------|------|----------------|-----------------------|-----------------------|----|----|-------|----------|-----------------|-------------|---------|---------------------------|------------------------|--------------------|-------------------------|-------------------------|---|--------------|--------------|
| 2 | 13.09 | P 01 | 658715 | 9100498 | 289 | 2.715 | 0.47 | 0.37 | 2.02357 | 1.51 | 0.412 | 1.44819 | 2.28278 | 20 | 45 | 0.5 | SE SUAI | 2443.869 | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | TIDAK | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | 1.00327 | 1.00864 |
| 3 | 13.59 | P 02 | 658719 | 9100519 | 295 | 2.922 | 0.206 | 0.34 | 7.37705 | 18.6 | 0.734 | 5.15044 | 10.5663 | 20 | 39 | 0.5 | SE SUAI | 2278.7778 | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | TIDAK | TIDAK | SE SUAI | SE SUAI | 1.26168 | 5.32861 |
| 4 | 10.16 | P 03 | 658724 | 9100544 | 295 | 2.973 | 0.223 | 0.34 | 5.1468 | 8.91 | 0.886 | 3.34959 | 7.9083 | 20 | 77 | 0.5 | SE SUAI | 4577.75934 | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | TIDAK | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | 1.54505 | 2.49563 |
| 5 | 11.01 | P 04 | 658728 | 9100568 | 294 | 2.891 | 0.328 | 0.35 | 3.08015 | 3.28 | 0.999 | 1.90477 | 4.98129 | 20 | 54 | 0.5 | SE SUAI | 3122.5932 | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | TIDAK | TIDAK | SE SUAI | SE SUAI | 1.4069 | 2.59907 |
| 6 | 11.29 | P 05 | 658732 | 9100594 | 305 | 2.657 | 0.205 | 0.38 | 5.57989 | 11.7 | 0.921 | 3.57422 | 8.71119 | 20 | 71 | 0.5 | SE SUAI | 3773.5364 | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | TIDAK | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | 0.985574 | 2.44552 |
| 7 | 12.26 | P 06 | 658738 | 9100620 | 296 | 2.674 | 0.127 | 0.37 | 8.0337 | 24.1 | 0.598 | 5.98192 | 10.7894 | 20 | 80 | 0.5 | SE SUAI | 4278.816 | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | 0.74707 | 2.48073 |
| 8 | 13.08 | P 07 | 658743 | 9100650 | 305 | 2.796 | 0.219 | 0.36 | 7.52758 | 20.3 | 0.603 | 5.59264 | 10.132 | 20 | 85 | 0.5 | SE SUAI | 4752.758 | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | TIDAK | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | 0.859154 | 2.59752 |
| 9 | 13.46 | P 08 | 658748 | 9100690 | 286 | 2.95 | 0.178 | 0.34 | 8.16208 | 22.6 | 1.061 | 4.91037 | 13.5684 | 20 | 80 | 0.5 | SE SUAI | 4720.432 | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | TIDAK | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | 1.29567 | 2.72871 |
| 10 | 12.04 | P 09 | 658663 | 9100488 | 290 | 2.895 | 0.386 | 0.35 | 4.79073 | 7.93 | 0.71 | 3.3836 | 6.783223 | 20 | 68 | 0.5 | SE SUAI | 3936.9416 | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | TIDAK | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | 1.63144 | 2.36637 |
| 11 | 12.04 | P 10 | 658669 | 9100514 | 290 | 2.895 | 0.386 | 0.35 | 4.79073 | 7.93 | 0.71 | 3.3836 | 6.783223 | 20 | 68 | 0.5 | SE SUAI | 3936.9416 | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | TIDAK | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | 1.63144 | 2.36637 |
| 12 | 14.56 | P 11 | 658673 | 9100540 | 307 | 2.418 | 0.172 | 0.41 | 7.67511 | 24.4 | 0.55 | 5.85043 | 10.0696 | 20 | 78 | 0.5 | SE SUAI | 3771.7524 | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | TIDAK | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | 0.986785 | 2.42487 |
| 13 | 15.3 | P 12 | 658677 | 9100565 | 307 | 2.415 | 0.152 | 0.41 | 6.75799 | 18.9 | 0.87 | 4.42992 | 10.3108 | 20 | 87 | 0.5 | SE SUAI | 4201.839 | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | TIDAK | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | 0.741868 | 1.63157 |
| 14 | 8.11 | P 13 | 658683 | 9100590 | 295 | 2.939 | 0.221 | 0.42 | 4.3797 | 7.99 | 1.331 | 2.34597 | 8.1765 | 20 | 75 | 0.5 | SE SUAI | 3599.07 | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | TIDAK | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | 0.713683 | 2.11168 |
| 15 | 8.53 | P 14 | 658687 | 9100620 | 298 | 2.402 | 0.131 | 0.42 | 7.09556 | 21 | 0.799 | 4.80577 | 10.4764 | 20 | 83 | 0.5 | SE SUAI | 3987.071 | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | TIDAK | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | 1.12806 | 2.40666 |
| 16 | 9.29 | P 15 | 658692 | 9100646 | 300 | 2.577 | 0.22 | 0.39 | 5.1768 | 10.4 | 0.949 | 3.27377 | 8.18632 | 20 | 69 | 0.5 | SE SUAI | 3556.3428 | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | TIDAK | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | 1.04342 | 1.69172 |
| 17 | 14.31 | P 16 | 658699 | 9100684 | 300 | 3.165 | 0.373 | 0.32 | 3.10499 | 3.05 | 0.783 | 2.11944 | 4.5492 | 20 | 84 | 0.5 | SE SUAI | 5317.284 | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | TIDAK | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | 1.42462 | 1.35027 |
| 18 | 10.13 | P 17 | 658614 | 9100482 | 293 | 3.627 | 0.335 | 0.28 | 4.6612 | 5.99 | 0.72 | 3.27592 | 6.63241 | 20 | 14 | 0.5 | SE SUAI | 1015.6804 | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | TIDAK | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | 1.45832 | 1.41995 |
| 19 | 11.03 | P 18 | 658618 | 9100508 | 292 | 2.937 | 0.317 | 0.34 | 5.34794 | 9.74 | 0.83 | 3.57044 | 8.01034 | 20 | 55 | 0.5 | SE SUAI | 3230.931 | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | TIDAK | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | 2.16123 | 2.66476 |
| 20 | 9.09 | P 19 | 658622 | 9100533 | 300 | 2.122 | 0.122 | 0.47 | 6.66535 | 20.9 | 0.58 | 5.004 | 8.87085 | 20 | 65 | 0.5 | SE SUAI | 2758.431 | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | TIDAK | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | 0.874681 | 0.535563 |
| 21 | 17.48 | P 20 | 658626 | 9100559 | 299 | 2.085 | 0.177 | 0.48 | 6.7816 | 22.1 | 0.765 | 4.66619 | 9.85651 | 20 | 79 | 0.5 | SE SUAI | 3294.142 | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | TIDAK | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | 0.840768 | 2.10964 |
| 22 | 17.05 | P 21 | 658631 | 9100585 | 310 | 1.954 | 0.181 | 0.51 | 5.61861 | 16.2 | 1.024 | 3.43494 | 9.19049 | 20 | 27 | 0.5 | SE SUAI | 1055.4138 | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | 1.03337 | 2.34352 |
| 23 | 16.25 | P 22 | 658635 | 9100610 | 306 | 2.002 | 0.284 | 0.5 | 3.37261 | 5.68 | 1.064 | 2.0811 | 5.66791 | 20 | 38 | 0.5 | SE SUAI | 1521.4288 | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | TIDAK | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | 0.771038 | 1.09485 |
| 24 | 15.13 | P 23 | 658639 | 9100636 | 310 | 2.228 | 0.274 | 0.45 | 4.44215 | 8.86 | 0.66 | 3.21145 | 6.14526 | 20 | 41 | 0.5 | SE SUAI | 1826.7468 | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | TIDAK | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | 0.970491 | 1.68381 |
| 25 | 15.50 | P 24 | 658646 | 9100678 | 305 | 2.173 | 0.171 | 0.46 | 7.97983 | 29.3 | 0.73 | 5.58142 | 11.4089 | 20 | 81 | 0.5 | SE SUAI | 3519.9522 | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | 0.877311 | 2.26622 |
| 26 | 9.08 | P 25 | 658656 | 9100476 | 309 | 2.322 | 0.291 | 0.43 | 4.68292 | 9.44 | 1.054 | 2.82598 | 7.76658 | 20 | 75 | 0.5 | SE SUAI | 3483.45 | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | TIDAK | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | 1.32389 | 2.33623 |
| 27 | 9.51 | P 26 | 658659 | 9100503 | 315 | 2.077 | 0.201 | 0.48 | 7.47862 | 26.9 | 1.615 | 5.52497 | 10.1235 | 20 | 79 | 0.5 | SE SUAI | 3282.213 | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | 1.74347 | 1.99438 |
| 28 | 10.32 | P 27 | 658573 | 9100528 | 312 | 1.878 | 0.214 | 0.53 | 6.60202 | 23.2 | 0.904 | 4.26129 | 10.3308 | 20 | 68 | 0.5 | SE SUAI | 2553.6584 | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | TIDAK | TIDAK | SE SUAI | SE SUAI | 1.33196 | 3.97971 |
| 29 | 11.13 | P 28 | 658577 | 9100552 | 315 | 1.882 | 0.121 | 0.53 | 9.0275 | 43.3 | 0.694 | 6.42472 | 12.6884 | 20 | 67 | 0.5 | SE SUAI | 2522.014 | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | 1.04225 | 2.15661 |
| 30 | 11.59 | P 29 | 658580 | 9100579 | 313 | 1.925 | 0.149 | 0.52 | 7.48839 | 29.1 | 1.023 | 4.58008 | 12.2436 | 20 | 52 | 0.5 | SE SUAI | 2001.5736 | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | 0.868306 | 2.8673 |
| 31 | 12.54 | P 30 | 658585 | 9100604 | 303 | 1.947 | 0.147 | 0.51 | 7.4669 | 28.6 | 1.166 | 4.2903 | 12.9956 | 20 | 64 | 0.5 | SE SUAI | 2492.3136 | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | 1.10585 | 2.4356 |
| 32 | 13.46 | P 31 | 658589 | 9100632 | 303 | 2.021 | 0.179 | 0.49 | 7.24407 | 26 | 1.043 | 4.39205 | 11.9491 | 20 | 76 | 0.5 | SE SUAI | 3071.7376 | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | 0.707424 | 1.87867 |
| 33 | 14.32 | P 32 | 658595 | 9100674 | 302 | 2.161 | 0.136 | 0.46 | 7.80641 | 28.2 | 0.689 | 5.56703 | 10.9466 | 20 | 79 | 0.5 | SE SUAI | 3413.9534 | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | 0.686979 | 2.19433 |
| 34 | 8.06 | P 33 | 658515 | 9100471 | 316 | 2.016 | 0.202 | 0.5 | 6.4338 | 20.5 | 0.815 | 4.32485 | 9.57146 | 20 | 75 | 0.5 | SE SUAI | 3024.12 | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | TIDAK | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | 1.01076 | 2.50029 |
| 35 | 8.52 | P 34 | 658518 | 9100496 | 309 | 1.86 | 0.172 | 0.54 | 7.02514 | 26.5 | 0.664 | 5.23991 | 9.90743 | 20 | 72 | 0.5 | SE SUAI | 2677.9824 | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | 0.897216 | 2.59634 |
| 36 | 9.42 | P 35 | 658522 | 9100521 | 321 | 1.802 | 0.128 | 0.55 | 7.58111 | 31.9 | 0.908 | 4.88351 | 11.7689 | 20 | 64 | 0.5 | SE SUAI | 2307.0848 | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | 0.883328 | 2.29594 |
| 37 | 10.37 | P 36 | 658526 | 9100546 | 322 | 1.76 | 0.129 | 0.57 | 7.64274 | 33.2 | 0.664 | 5.51441 | 10.5928 | 20 | 66 | 0.5 | SE SUAI | 2322.6984 | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | 1.09196 | 2.88382 |
| 38 | 12.27 | P 37 | 658530 | 9100570 | 316 | 1.797 | 0.105 | 0.56 | 8.96 | 44.7 | 0.76 | 6.18151 | 12.9875 | 20 | 70 | 0.5 | SE SUAI | 2515.982 | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | 1.16576 | 2.07951 |
| 39 | 16.33 | P 38 | 658534 | 9100598 | 313 | 1.858 | 0.086 | 0.54 | 9.11904 | 44.8 | 0.466 | 7.24005 | 11.4857 | 20 | 75 | 0.5 | SE SUAI | 2786.655 | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | 1.03653 | 1.80295 |
| 40 | 15.52 | P 39 | 658540 | 9100642 | 309 | 2.115 | 0.191 | 0.47 | 6.829 | 22 | 1.066 | 4.09814 | 11.3796 | 20 | 80 | 0.5 | SE SUAI | 3384.704 | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | 1.03967 | 2.38146 |
| 41 | 15.17 | P 40 | 658544 | 9100667 | 310 | 2.23 | 0.185 | 0.45 | 8.43467 | 31.9 | 0.55 | 6.42731 | 11.0698 | 20 | 77 | 0.5 | SE SUAI | 3433.5686 | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | 1.02339 | 2.42204 |
| 42 | 13.59 | P 41 | 658463 | 9100464 | 318 | 1.828 | 0.18 | 0.55 | 6.04864 | 20 | 0.664 | 4.36478 | 8.38216 | 20 | 73 | 0.5 | SE SUAI | 2668.4858 | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | 0.917533 | 2.22084 |
| 43 | 12.25 | P 42 | 658477 | 9100559 | 314 | 1.753 | 0.117 | 0.57 | 7.83846 | 35 | 0.455 | 6.25595 | 9.82198 | 20 | 82 | 0.5 | SE SUAI | 2875.2972 | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | 1.20645 | 2.03372 |
| 44 | 13.14 | P 43 | 658494 | 9100663 | 312 | 1.836 | 0.22 | 0.54 | 6.87886 | 25.8 | 0.572 | 5.18615 | 9.1242 | 20 | 79 | 0.5 | SE SUAI | 2900.2006 | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | TIDAK | SE SUAI | SE SUAI | SE SUAI | 0.997764 | 2.6599 |
| 45 | 15.04 | P 44 | 658417 | 9100458 | 314 | 1.936 | 0.346 | 0.52 | 7.22232 | 3.83 | 0.85 | 1.80072 | 4.11575 | 20 | 68 | 0.5 | SE SUAI | 2633.0144 | | | | | | | | | | |

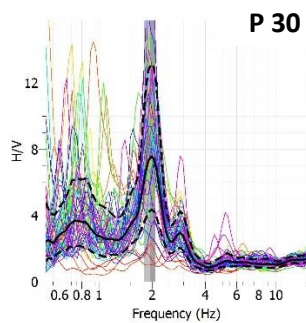
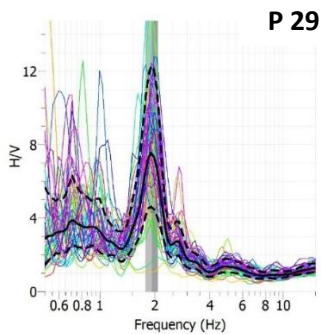
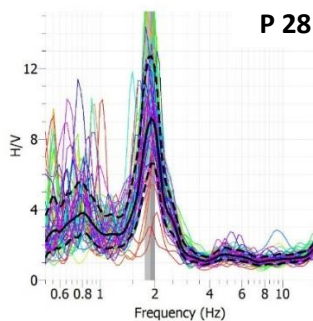
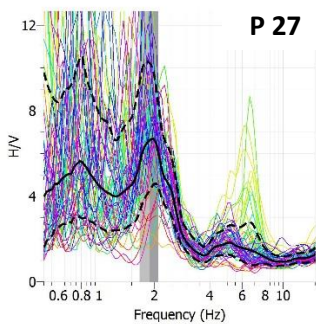
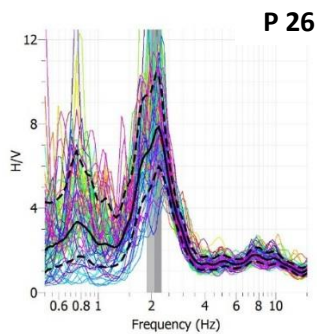
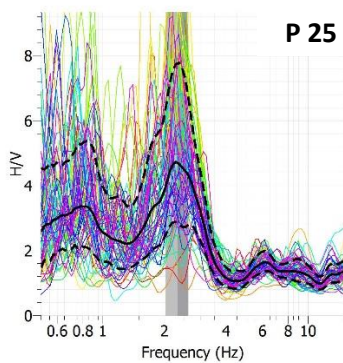
Kurva H/V pada Daerah Penelitian

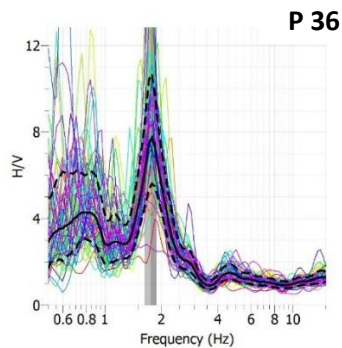
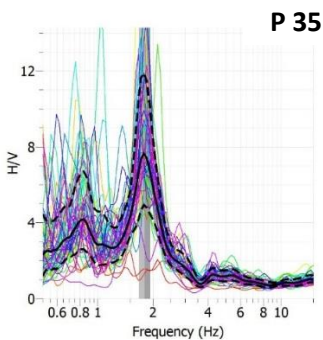
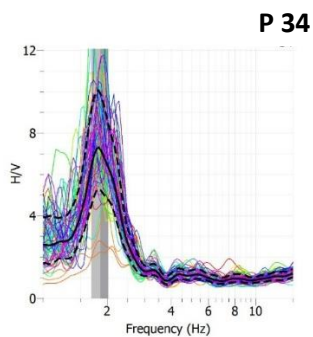
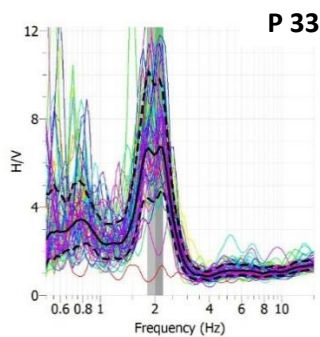
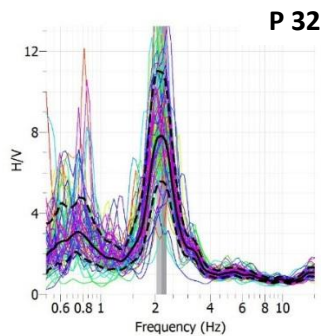
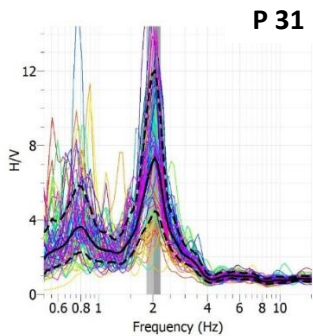


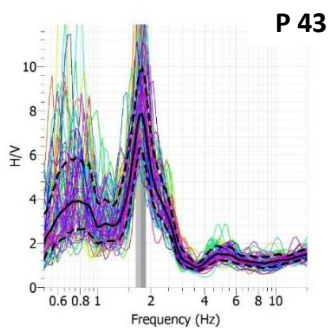
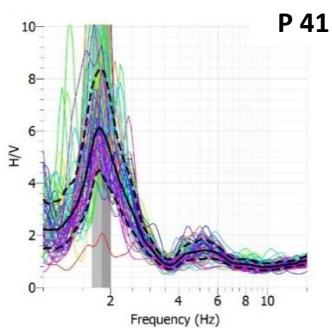
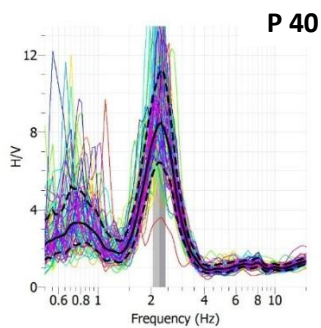
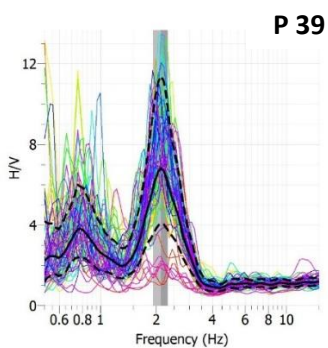
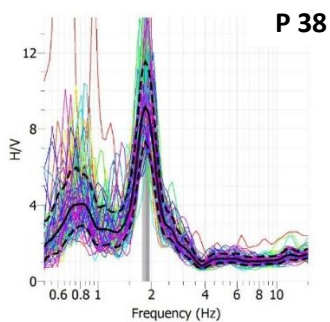
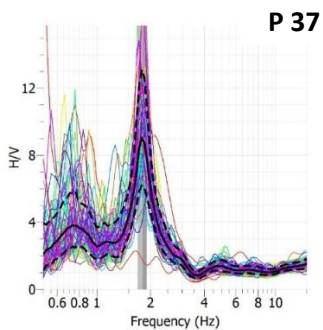


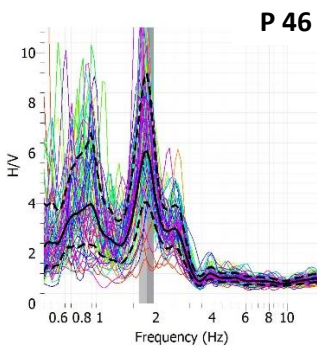
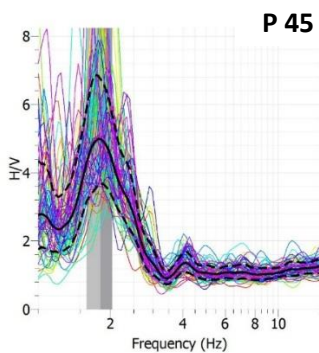
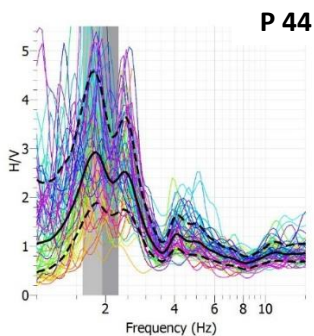
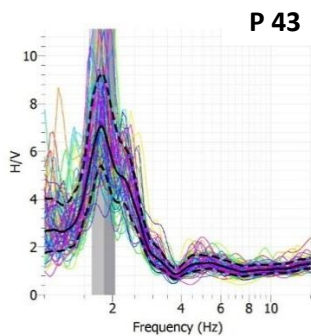




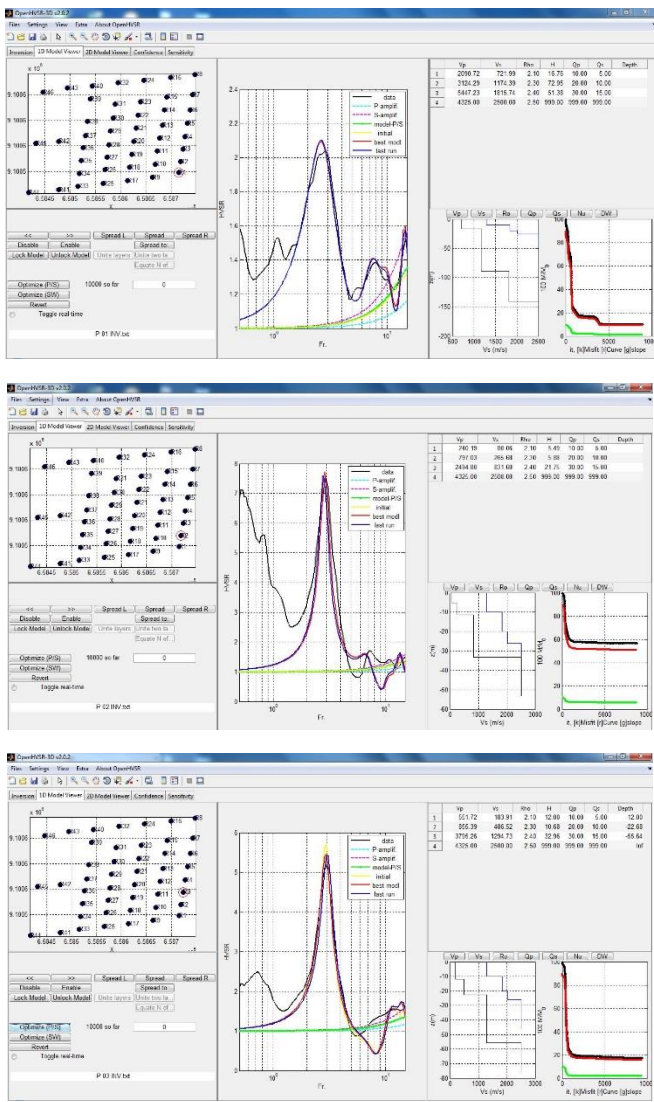


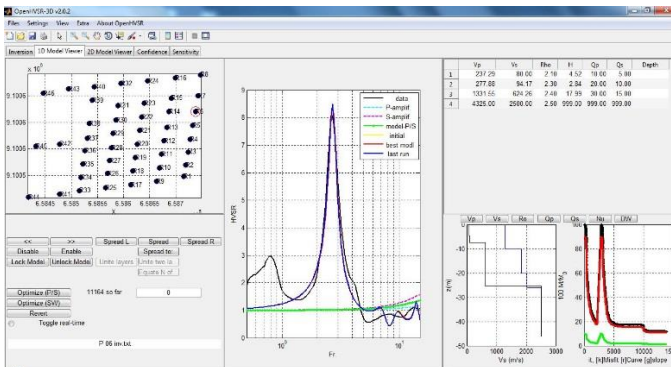


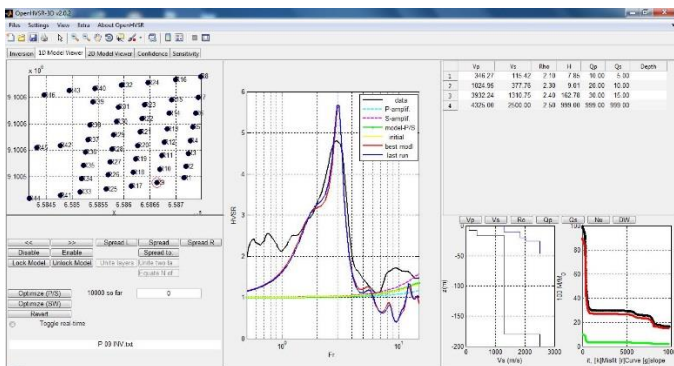
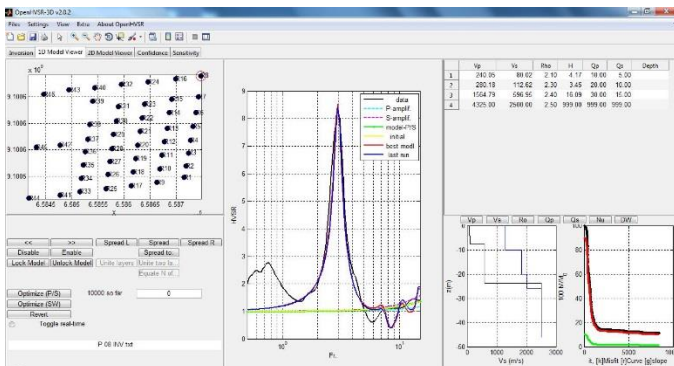
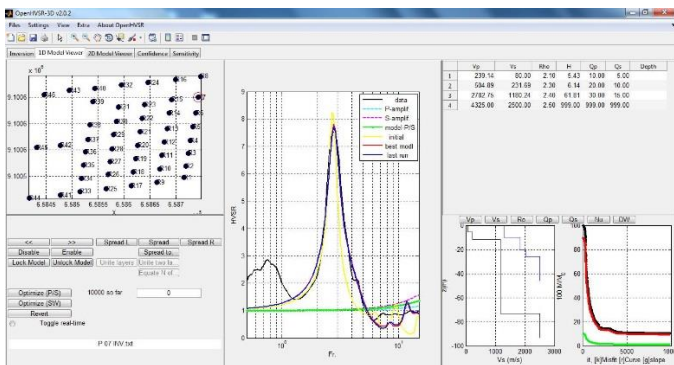


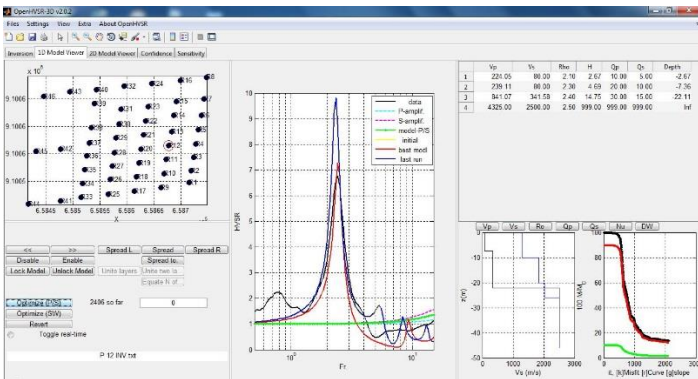
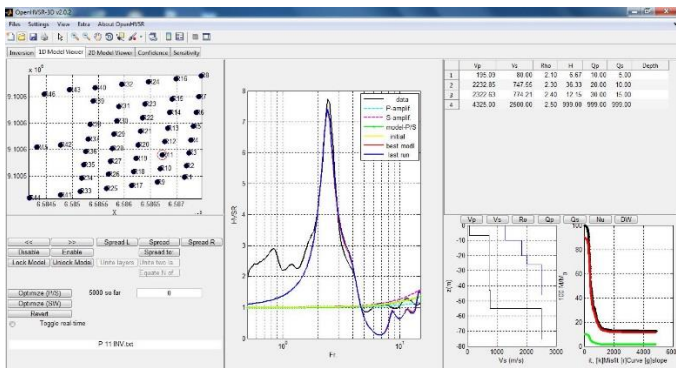
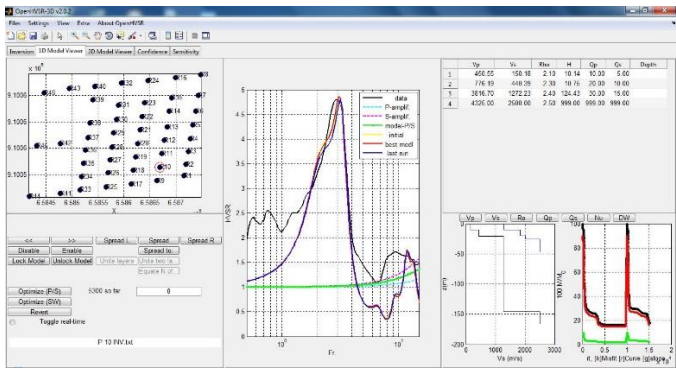


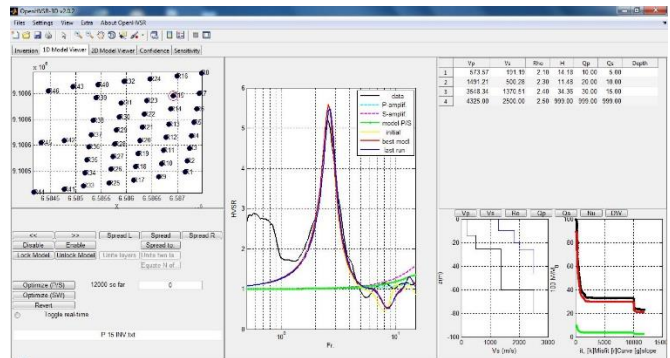
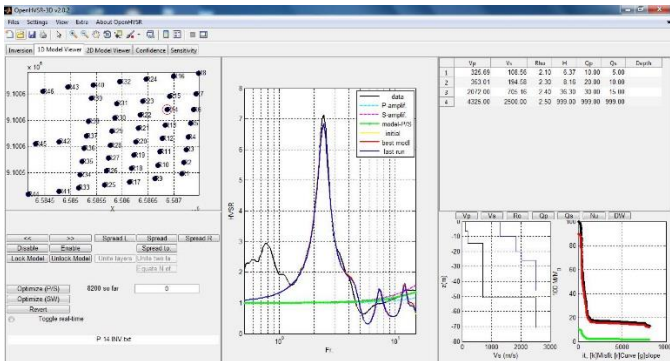
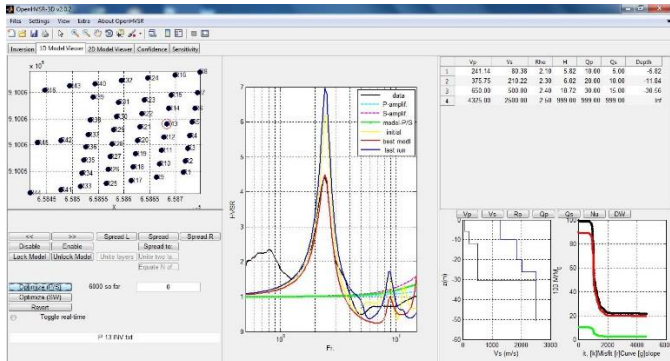
Hasil Inversi Kurva HVSR

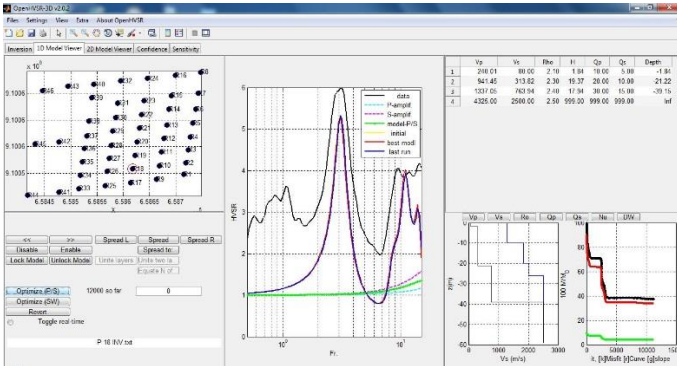
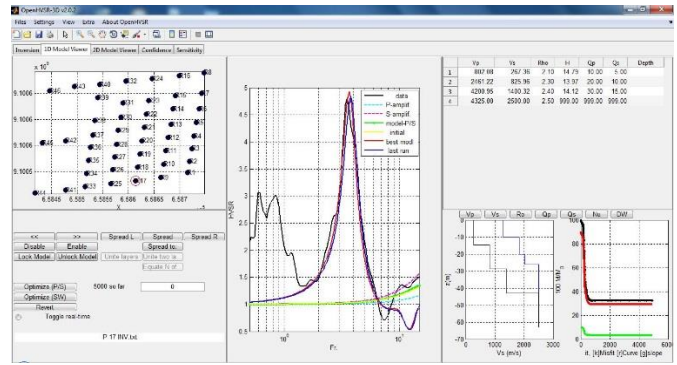
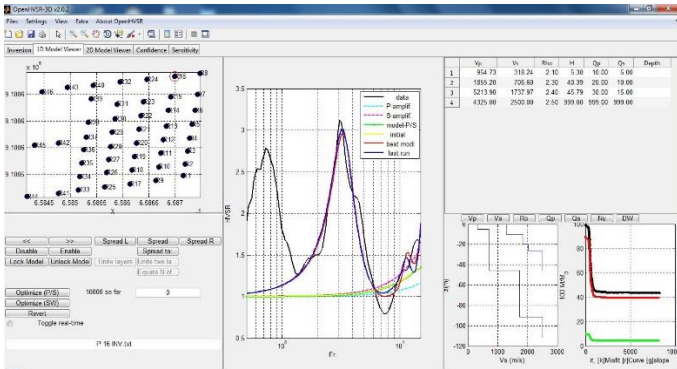


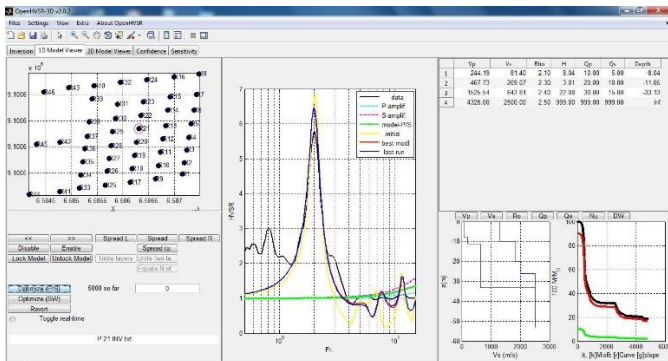
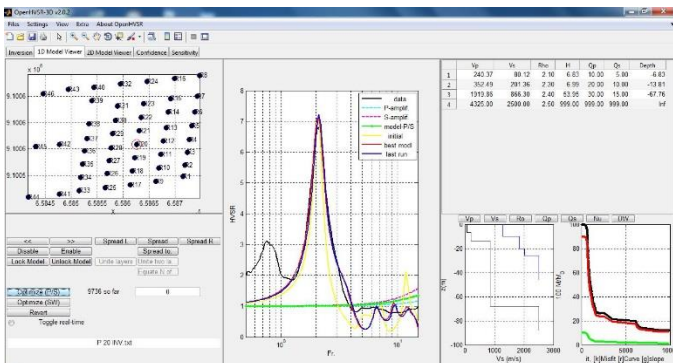
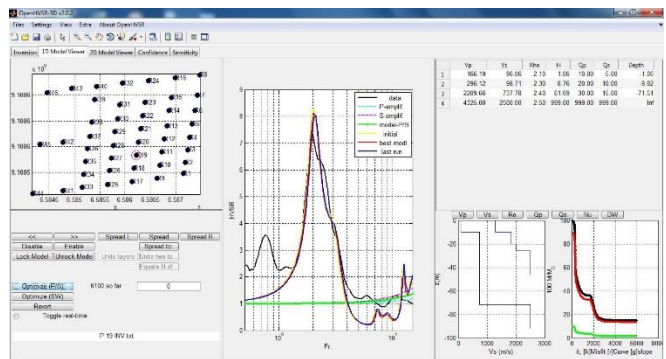


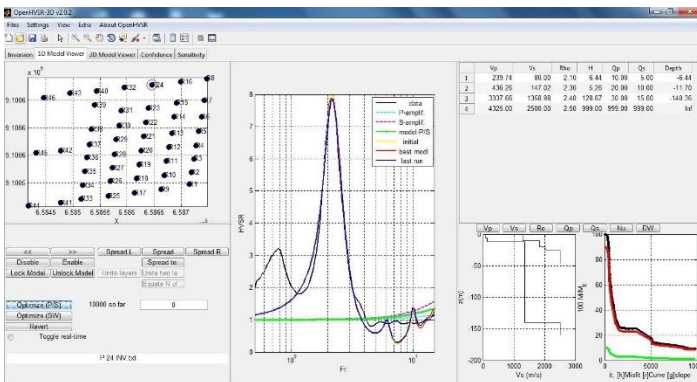


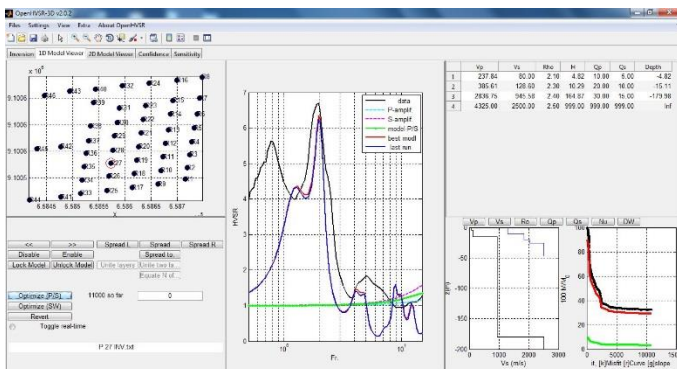
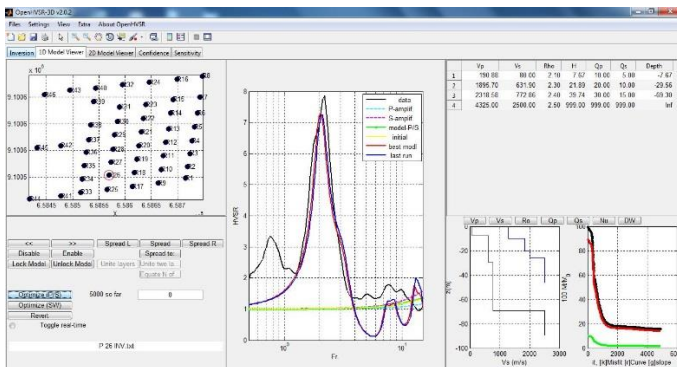
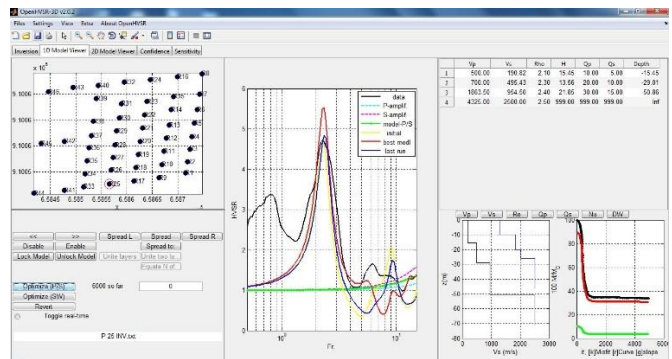


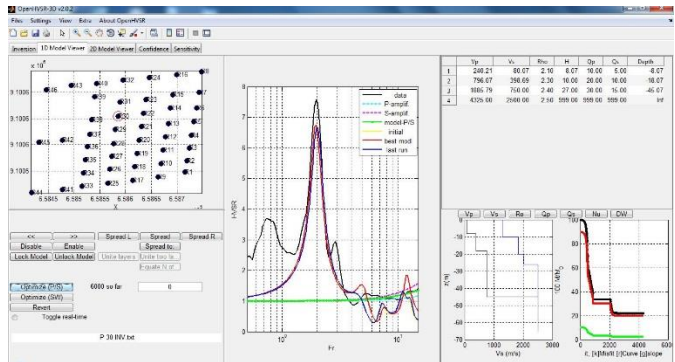
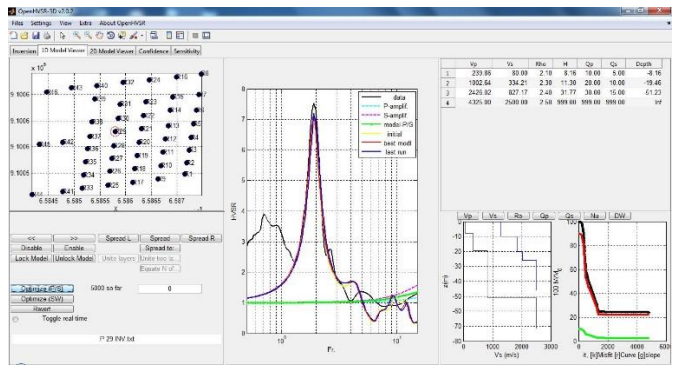
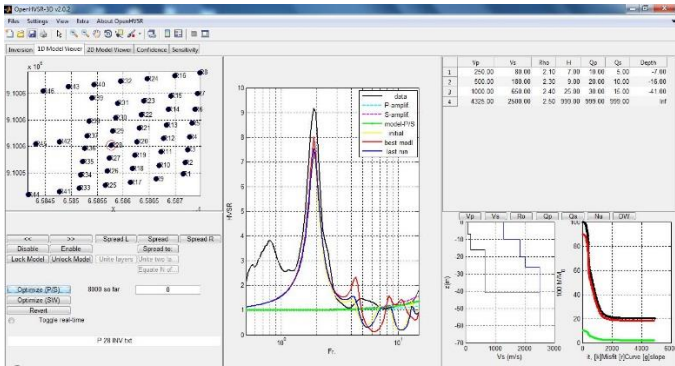


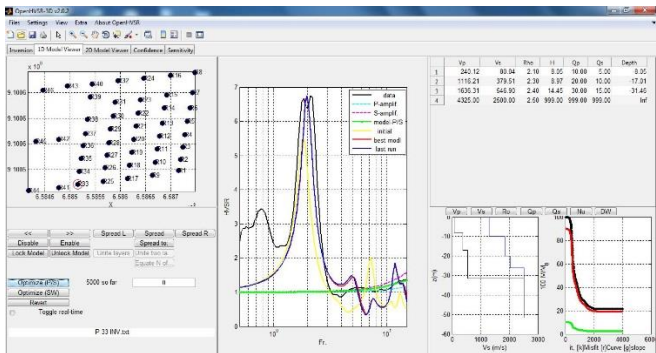
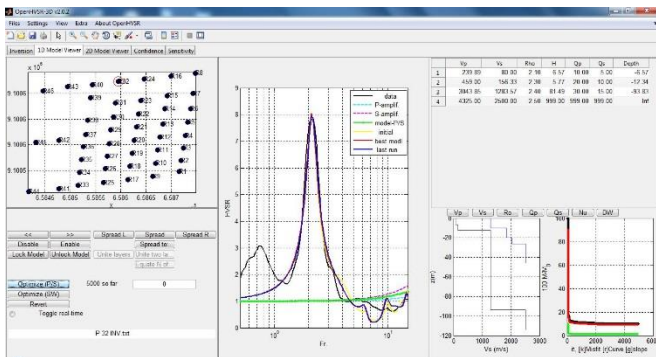
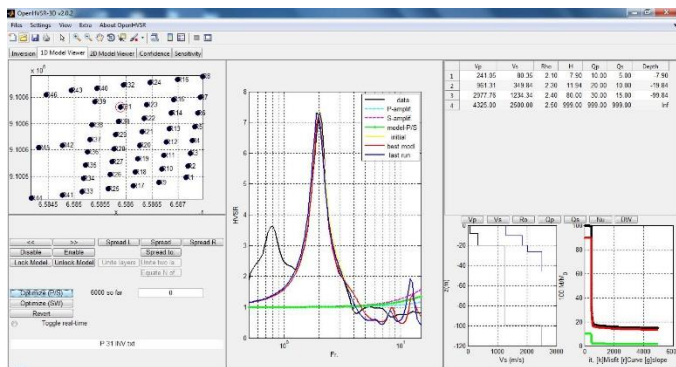


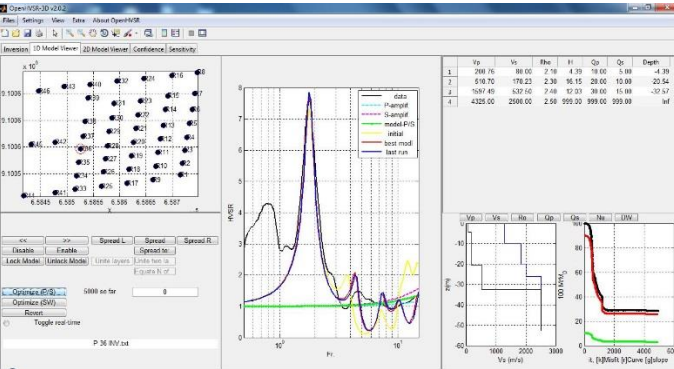


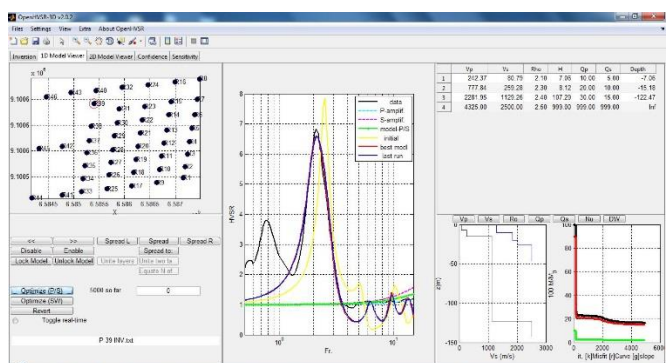


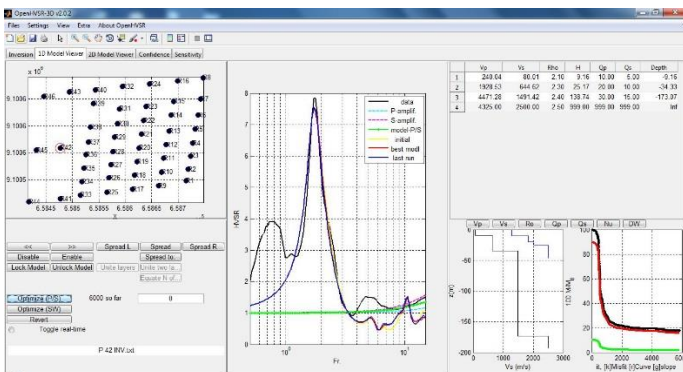


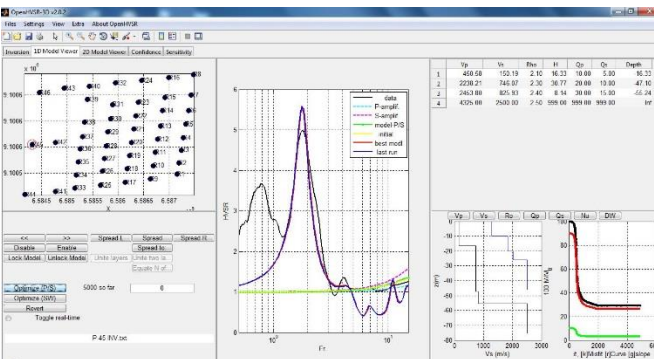


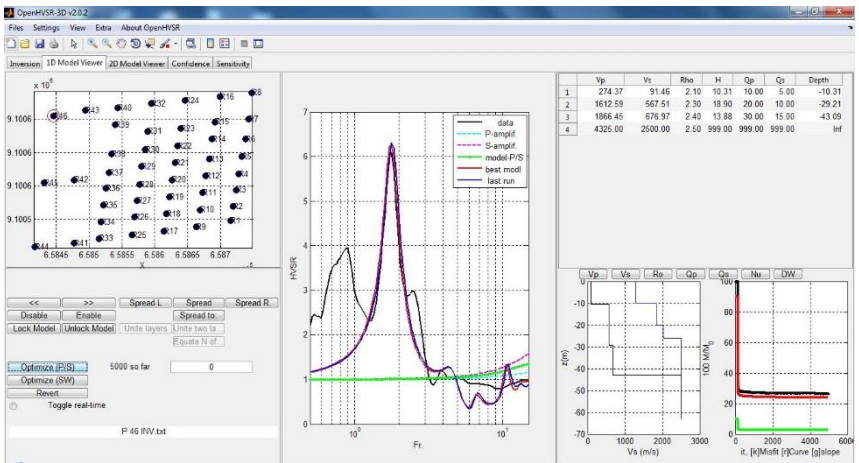












BIOGRAFI PENULIS



Penulis bernama Imam Gazali, lahir di Sumenep, tanggal 21 April 1996, sebagai anak terakhir dari lima bersaudara. Pendidikan formal pertama yang ditempuh pada tahun 2001 di SD Negeri Pancor 1, kemudian melanjutkan pendidikan ke SMPN 1 Gayam pada tahun 2007-2010 dan SMA Negeri 1 Sumenep pada tahun 2010-2013. Lulus SMA langsung melanjutkan kuliah S-1 di Teknik Geofisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya melalui jalur Bidikmisi.

Selama menjadi mahasiswa penulis aktif berkontribusi dalam organisasi. Salah satu kontribusi penulis terbukti dalam tanggung jawab sebagai *Public Relation* ITS Mengajar selama 2 tahun berturut-turut (2014-2015), Staf IECC BEM ITS (2014/2015), kemudian penulis dipercaya sebagai Kepala Departemen Sosial Masyarakat pada kepengurusan 2015/2016 HMTG ITS. Selain itu penulis juga aktif di organisasi kerohanian salah satunya yaitu sebagai pengurus Lembaga Dakwah Jurusan (Al-Ardh) teknik geofisika ITS pada tahun 2015/2016.

Selain itu penulis juga aktif dalam bidang keprofesian yaitu pernah menjadi asisten Lab. Eksplorasi dan pernah menjadi asisten praktikum elektronika dasar. Serta penulis pernah melakukan kerja praktek di Tangkuban Parahu Geothermal Power dengan topik “pemodelan struktur resistivitas menggunakan data magnetotellurik”. Penulis juga tertarik dalam bidang keilmuan geoteknik dan eksplorasi. Penulis dapat dihubungi melalui email di: imamgazali31@gmail.com atau imam13@mhs.geofisika.its.ac.id.